

**SOSTENIBILIDAD DEL ECOSISTEMA RÍO CAUCA ANTE LA EXPLOTACIÓN DE  
MATERIALES DE ARRASTRE POR PARTE DE LOS ARENEROS ARTESANALES DEL  
CORREGIMIENTO DEL PASO DE LA BOLSA - JAMUNDI**

**OLGA PATRICIA VILLA GÓMEZ**  
Geóloga

**Tesis en la modalidad de investigación como requisito para optar al título de:  
Maestría en Desarrollo Sustentable – Énfasis en Ecosistemas Acuáticos**

**Director:**  
**Ing. Civil. MSc. CARLOS ALBERTO RAMIREZ CALLEJAS**  
**Profesor EIDENAR**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**Escuela de Ingeniería Civil y Geomática**

**2018**

## CONTENIDO

	Pag.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xxx</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>xxx</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>xxx</b>
<b>Lista de Fotos .....</b>	<b>xxx</b>
<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>8</b>
<b>2. LOCALIZACIN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>10</b>
<b>3. JUSTIFICACION .....</b>	<b>12</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
4.1. General .....	13
4.2. Específicos .....	13
<b>5. ANTECEDENTES .....</b>	<b>14</b>
<b>6. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>16</b>
<b>7. METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
<b>8. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>25</b>
8.1. Desarrollo sustentable .....	25
8.2. Los materiales de arrastre .....	27
8.3. Los ecosistemas acuáticos .....	28
<b>9. CARACTERIZACION DEL ECOSISTEMA RIO CAUCA EN EL SECTOR DEL PASO DE LA BOLSA .....</b>	<b>29</b>
9.1. Componente Físico .....	29
9.1.1. Geología de la cuenca de aporte .....	29
9.1.2. Geología local .....	32
9.1.3. Unidades geomorfológicas .....	33
9.1.4. Aspectos hidráulicos locales .....	36
9.1.4.1. Ancho .....	37
9.1.4.2. Profundidad .....	38
9.1.4.3. Sección transversal .....	40

9.1.4.4. Perfil longitudinal .....	41
9.1.4.5. Caudal .....	42
9.1.4.6. Pendiente .....	44
9.1.4.7. Rugosidad .....	44
9.1.5. Aspectos morfológicos locales .....	45
9.1.5.1. Sinuosidad .....	45
9.1.5.2. Movilidad horizontal .....	47
9.1.6. Clasificación y grado de estabilidad del cauce .....	49
9.1.7. Transporte de sedimentos .....	55
9.2. Componente biótico .....	63
9.2.1. Análisis biológicos y físico-químicos .....	67
9.2.2. Flora .....	71
<b>10. CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD MINERA EN EL SECTOR DEL PASO DE LA BOLSA .....</b>	<b>73</b>
10.1. Tipos de explotación .....	74
10.1.1. Extracción manual .....	74
10.1.2. Explotación semi-mecanizada .....	78
10.1.3. Explotación mecanizada .....	80
10.2. Situación legal .....	83
10.3. Efectos ambientales de las explotaciones de materiales de arrastre ....	89
10.3.1. Sobre el componente físico .....	89
10.3.2. Sobre el componente biótico .....	91
10.3.3. Sobre el componente social .....	93
10.3.4. Sobre infraestructuras .....	94
10.3.5. Sobre vías veredales .....	97
<b>11. ESTRATEGIAS DE SUSTENTABILIDAD PARA LA EXTRACCION ARTESANAL DE LOS ARENEROS DEL PASO DE LA BOLSA .....</b>	<b>98</b>
11.1. Períodos de explotación .....	98
11.2. Zonas de mayor potencial .....	99
11.3. Métodos de explotación .....	100
11.4. Legalización .....	101
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>103</b>
12.1. Aspectos físicos .....	103
12.2. Aspectos bióticos .....	105

12.3. Aspectos legales .....	107
12.4. Aspectos sociales .....	108
<b>13. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>112</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización general de la zona de estudio .....	11
Figura 2. Geología local para la zona de estudio .....	33
Figura 3. Imagen tomada del Google Earth, de junio de 2017 .....	36
Figura 4. Erosión lateral para el año 2012, aguas abajo del Puente La Bolsa .....	38
Figura 5. Irregularidades en el ancho del cauce, aguas abajo del Puente La Bolsa, en sitios de explotación mecanizada .....	39
Figura 6. Secciones transversales en el sector del Puente del Paso de La Bolsa, a través de los años (1977 – 1997) .....	39
Figura 7. Proceso de profundización local, producto de una sobre-explotación ....	40
Figura 8. Secciones transversales representativas, aguas arriba y aguas abajo del Puente La Bolsa .....	41
Figura 9. Perfil longitudinal multitemporal del thalweg del río Cauca, a lo largo del tramo de estudio .....	43
Figura 10. Morfología histórica comparativa entre los años 1969, 2002 y 2017 .....	46
Figura 11. Fotografías aéreas de los años 2012 (izquierda) y 2015 (derecha) de la curva 5, que muestran el avance de la orilla izquierda, en su primera parte y su retroceso al finalizar .....	49
Figura 12. Clasificación de cauces, en planta y sección transversal, según Rosgen, 1994 .....	53
Figura 13. Clasificación de Rosgen (1994), según el grado de atrincheramiento ....	55
Figura 14. Curva granulométrica del lecho del río Cauca, para el tramo Quinamayó – Desbaratado, antes de construido Salvajina .....	57
Figura 15. Curva granulométrica del lecho del río Cauca, para el tramo Quinamayó – Desbaratado, después de construido Salvajina .....	57
Figura 16. Composición porcentual de la granulometría promedio en el tramo La Ventura – Desembocadura río Palo .....	58
Figura 17. Playas de explotación manual .....	61
Figura 18. Relación de las rondas hídricas y el nivel freático .....	65
Figura 19. Localización de sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos y físico-químicos .....	66
Figura 20. Análisis de similitud de Cluster .....	70
Figura 21. Madreviejas El Chuchal y El Mango, ubicadas sobre la margen derecha del río Cauca .....	73
Figura 22. Localización de solicitudes y títulos mineros, aguas arriba del Puente de La Bolsa .....	84
Figura 23. Localización de solicitudes y títulos mineros, aguas abajo del Puente La Bolsa .....	87
Figura 24. Cambios que ha sufrido el cauce del río Cauca, en el tramo de explotación mecanizada .....	89
Figura 25. Afectación de la zona riparia del río Cauca en el sitio de acopio de la minería mecanizada .....	91
Figura 26. Afectación de la zona riparia del río Cauca en el sitio de acopio de los areneros manuales .....	92
Figura 27. Zona de formación de rápidos (rifles) y piscinas (pool) entre dos curvas contrarias. Tomado de Hudson, 2002 .....	96
Figura 28. Ciclos de extracción de un cauce .....	98
Figura 29. Secciones transversales K5+750 y K5+800 de la topobatimetría levantada (zona de explotación mecanizada, aguas abajo del Puente La Bolsa) .....	99

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Principales cuencas que drenan hacia la zona de estudio .....	30
Tabla 2. Sinuosidades para el cauce del río Cauca, en la zona de estudio, entre los años 1969 y 2017.....	46
Tabla 3. Areas erosionadas y abandonadas para el tramo K77+000 y K88+000, entre los años 1957 y 1977 .....	47
Tabla 4. Datos de erosión y avance de orilla para el tramo de estudio, entre los años 2002 y 2016 .....	48
Tabla 5. Clasificación de cauces según Schumm, 1977 .....	50
Tabla 6. Clasificación de cauces aluviales con base en su estabilidad, a partir de Schumm, 1977 .....	51
Tabla 7. Valores de diámetro (d50) antes y después de Salvajina para el tramo Quinamayó – Desbaratado .....	56
Tabla 8. Cálculo de material de lecho (Sb) para cada sector evaluado .....	60
Tabla 9. Coordenadas de los sitios de muestreo de macroinvertebrados y físico-químicos .....	66
Tabla 10. Número de individuos encontrados para cada uno de los sitios Muestreados .....	68
Tabla 11. Índices de biodiversidad para cada sitio de muestreo .....	69
Tabla 12. Resultados de los parámetros físicoquímicos en cada uno de los sitios muestreados .....	69
Tabla 13. Indicadores ecológicos reportados para el Sector del Paso de La Bolsa en estudio realizado en el año 2004 (CVC-Univalle, 2004b), y registrados en desarrollo del presente estudio (julio de 2017) .....	71
Tabla 14. Descripción de explotaciones en el sector del Paso de la Bolsa .....	78

## LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Vista de la playa Mucho Ojo, ubicada hacia la margen derecha .....	60
Foto 2. Playa Raspa Raspa, ubicada hacia la margen izquierda del río Cauca y constituida principalmente por arenas finas .....	61
Foto 3. Vista de la playa Madre Vieja, formada por gravas y arenas.....	61
Foto 4. Playa Enrique sobre la margen derecha del río Cauca .....	62
Foto 5. Vista de la playa Atilio .....	63
Foto 6. Muestreos realizados con draga Ekman .....	67
Foto 7. Vegetación típica en las márgenes del río Cauca (Sauces y cañabrava, entre otros) .....	72
Foto 8. Descarga de arenas con ayuda de caballos .....	75
Foto 9. Descargue de areneros manuales con ayuda de bandas Transportadoras .....	76
Foto 10. Patios de acopio de material explotado por los areneros artesanales del sector del Paso de La Bolsa .....	77
Foto 11. Vista de las canoas a las cuales se les han instalado baldes metálicos para la extracción de arenas y gravas del fondo del cauce .....	79
Foto 12. Malacate usado por algunos areneros del Paso de La Bolsa .....	79
Foto 13. Draga Señor Guillermo Serra. Aguas arriba del tramo de los areneros Manuales .....	81
Foto 14. Dragados Colombia. Aguas abajo del Puente La Bolsa .....	81
Foto 15. Vista del taladro con el que acondicionan algunas dragas para facilitar la explotación del lecho del río .....	82
Foto 16. Malacate Los Vargas, aguas abajo del Puente La Bolsa .....	83
Foto 17. Arrojo de escombros en la zona explotada con equipos mecánicos (dragas y malacate) .....	90
Foto 18. Construcción de espolones junto al estribo izquierdo del Puente La Bolsa .....	95
Foto 19. Hincado de tablestacas con martillo vibrador .....	95
Foto 20. Erosión que se presenta hacia el estribo de la margen izquierda del Puente La Bolsa y que afecta el tablestacado construido en el año 1996 .....	96
Foto 21. Tablestacado que protege la pila ubicada en la margen derecha .....	97

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Fotogeología
- Anexo 2. Topobatimetría en planta
- Anexo 3. Secciones transversales
- Anexo 4. Secciones transversales comparativas
- Anexo 5. Datos morfológicos e hidráulicos
- Anexo 6. Encuestas a mineros

## 1. INTRODUCCION

La explotación de materiales de arrastre a lo largo del río Cauca se ha venido adelantado desde inicios del siglo pasado, en principio de manera manual con ayuda sólo de palas, picas y baldes por parte de areneros artesanales. Estas labores han sido heredadas de generación en generación, hasta el presente.

Con el paso del tiempo, y ante el aumento de la demanda de materiales de construcción para el desarrollo urbanístico de los municipios de Jamundí y Cali, y de obras de infraestructura de diferente tipo, el número de explotaciones en el río ha venido aumentando vertiginosamente, ocasionando la sobre-explotación de materiales de arrastre, y con ello impactos negativos sobre el ecosistema fluvial, la estabilidad de las obras existentes en las márgenes del cauce del río, como puentes, bocatomas, obras de control de inundaciones y estructuras de fijación de orillas. Adicionalmente, los problemas de sobre-explotación de materiales en el río han reducido la extensión de las barras y playas en el cauce, las cuales se han constituido durante décadas en la fuente de sustento de numerosas familias asentadas cerca al río. Los areneros artesanales dependen de las condiciones de profundidad de agua del río y de la existencia de playas y barras de arenas y gravas ubicadas por encima del nivel del agua o ligeramente por debajo de éste, para poder adelantar su explotación.

No obstante, la explotación manual tradicional poco a poco ha ido disminuyendo y las extracciones mecanizadas o semimecanizadas, mediante dragas, minidragas, malacates y otros equipos, han venido aumentando de manera desproporcionada, en busca de los pocos relictos de playas y barras que quedan. Debido a los grandes volúmenes de materiales que se extraen mediante equipos mecánicos, los impactos sobre el ecosistema fluvial se agudizan a causa de la excesiva profundización que ocasionan en el cauce y los efectos negativos que ello puede desencadenar sobre el ecosistema acuático, las obras de infraestructura y las comunidades ribereñas.



Actualmente unos de los pocos areneros artesanales que subsisten en el río Cauca, entre Timba y Yumbo, son los del corregimiento del Paso de La Bolsa, los cuales han logrado mantener su actividad y seguir laborando con medios estrictamente manuales, a pesar de la dificultad para extraer las arenas a profundidades cada vez mayores. Sin embargo, aguas arriba y aguas abajo de este sector proliferan las dragas y malacates, muchos de ellos operados por los que trabajaban manualmente, pero que sucumbieron ante los rendimientos que logran con estas maquinarias, por cuanto no tienen limitaciones de tipo climático, espacial o de tiempo para adelantar su actividad.

Prácticamente todos los areneros que trabajan en este sector, aproximadamente 80 personas, habitan en el corregimiento del Paso de La Bolsa y derivan de esta labor el sustento para sus familias. Sin embargo, durante ciertos períodos del año, cuando los materiales en el río escasean o las condiciones climáticas de invierno generan mayores niveles y profundidades de agua en el río, los areneros artesanales no pueden realizar las actividades de explotación de materiales del río, viéndose obligados a realizar otras actividades para sobrevivir, principalmente en el campo agropecuario. En abril de 2013 los areneros artesanales del Paso de La Bolsa lograron unirse en dos grupos y se acogieron al proceso de legalización de minería de hecho, el cual se encuentra actualmente vigente.

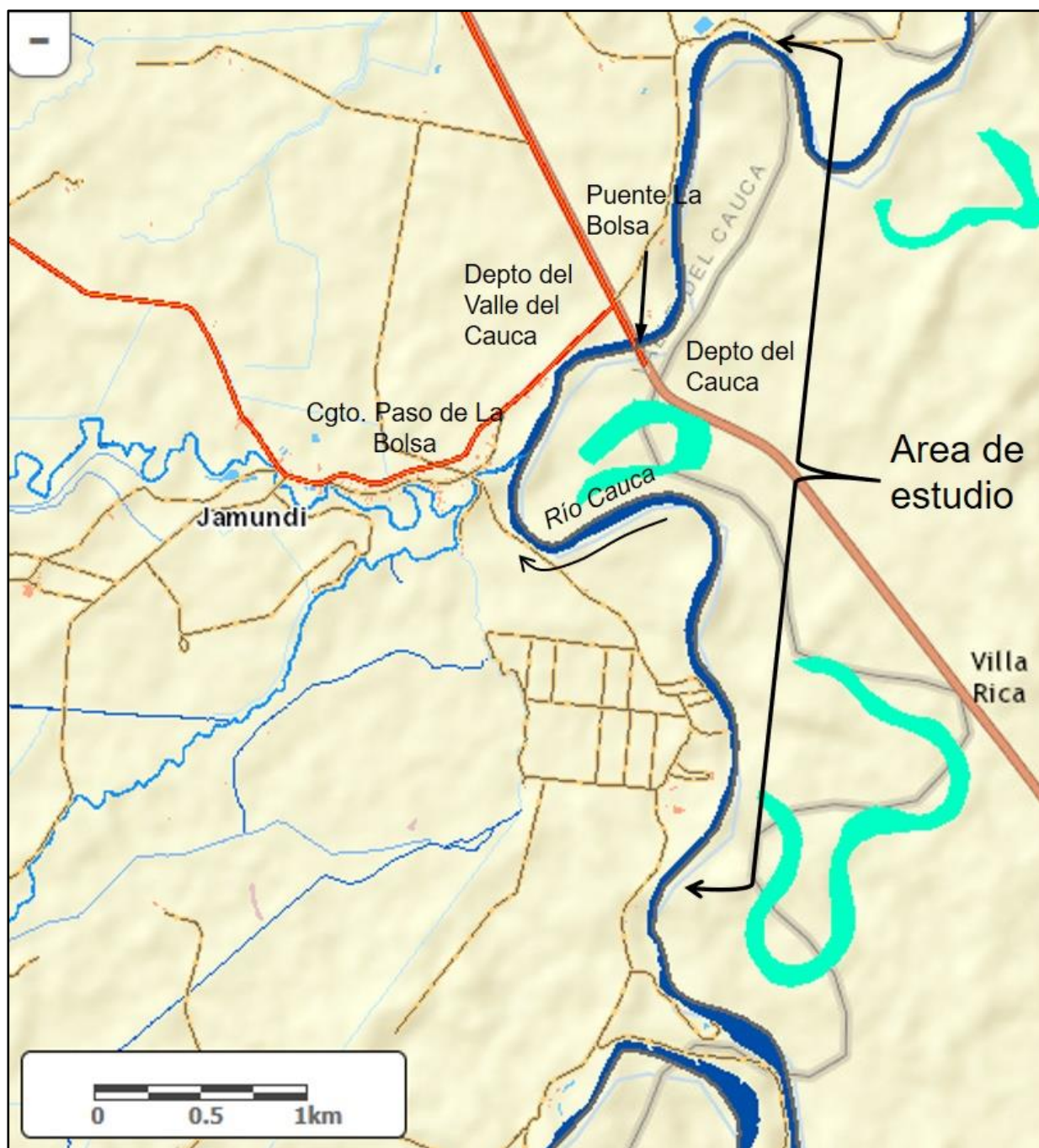
Toda la problemática descrita previamente origina el tema objeto de la presente investigación, mediante la cual se busca analizar la situación ambiental por la que pasa el ecosistema fluvial del río Cauca en el sector del Paso de la Bolsa, así como las razones que han permitido a los areneros continuar realizando su actividad ancestral y, finalmente, tratar de establecer una estrategia para su sostenibilidad ambiental, social y legal. Para ello se analizará la situación actual del cauce desde el punto de vista físico y biótico, su evolución en el tiempo mediante el análisis de los registros históricos y la comparación de las condiciones de este sector con respecto a las de los tramos de aguas arriba y aguas abajo, en los cuales proliferan las explotaciones mecanizadas. Se analizará, también, la conformación del grupo social de

areneros, sus características, necesidades y principales problemáticas, frente a las posibilidades de continuar con su actividad.

## **2. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona objeto de estudio se ubica entre los departamentos del Valle del Cauca (Jamundí) y Cauca (Villa Rica) a lo largo de 6 km del río Cauca, frente al corregimiento del Paso de La Bolsa de municipio de Jamundí y abarcando el puente que lleva su mismo nombre o Puente Guillermo León Valencia, que une los dos departamentos.

El acceso se realiza por la vía que de Cali, lleva a Popayán, y antes de tomar el Puente La Bolsa, se toma un carreteable a la derecha que lleva al corregimiento del Paso de La Bolsa y permite el acceso al tramo de cuatro (4) km hacia aguas arriba que comprende la zona de estudio; a su vez puede tomarse por un carreteable sobre la margen izquierda de la vía Panamericana para acceder a los dos (2) Km. Aguas abajo que completan el área de estudio. Ver Figura No. 1.



**Figura 1.** Localización general de la zona de estudio.

### 3. JUSTIFICACION

Los ecosistemas acuáticos son quizás uno de los ambientes más intervenidos y afectados del Valle del Cauca; dentro de éstos, los ríos son muy seguramente los más intervenidos y explotados debido a los múltiples servicios ambientales que suministran a la sociedad. La accesibilidad que ofrecen los ríos facilita la explotación indiscriminada de todos los recursos naturales que ofrecen estos ecosistemas; sin embargo, dentro de estos, los materiales de arrastre son los más sobre-explotados, especialmente por particulares, entidades territoriales y empresas que los utilizan para abastecer diferentes tipos de proyectos de desarrollo. A su vez, por tradición, estos recursos también son fuente de sustento de comunidades campesinas y afrodescendientes que han habitado ancestralmente las vecindades de los ríos de la región y del país.

Desde hace varias décadas se ha venido estudiando y trabajando la temática de la explotación de los materiales de arrastre desde el punto de vista ambiental, procurando que estas actividades sean realizadas de manera técnica y ambientalmente sostenible. En el caso específico de los areneros del Paso de La Bolsa, quienes han logrado mantener su actividad de forma manual, a pesar de la presión para que mecanicen su labor, ha motivado desde hace varios años a investigar mejor su situación.

Los ríos son ecosistemas altamente dinámicos y complejos, donde sus parámetros físicos y biológicos se encuentran íntimamente relacionados entre sí, y un ligero cambio introducido en alguno de ellos puede desencadenar efectos adversos de alguna consideración en un tramo apreciable del río.

Cuando los cauces pierden en exceso su carga sólida, se desencadena un proceso de degradación de su lecho, tanto aguas arriba como aguas abajo, pudiendo en ocasiones causar la pérdida de su acorazamiento o armadura, cuando aún existiese, que es la capa de fondo conformada por clastos de mayor tamaño embebidos por una matriz fina. La degradación del lecho y la pérdida de la capa de protección del fondo desencadenan una serie de efectos de

diferente tipo: 1) Bióticos, ya que disminuyen los índices de diversidad de especies bentónicas (macroinvertebrados e invertebrados), 2) Físicos, ya que modifica la capacidad hidráulica del cauce al erosionar su lecho y bancas, desencadenando importantes cambios morfológicos, además hace que las aguas subterráneas se profundicen, afectando también los humedales y basines, 3) Antrópicos, al afectar las obras de infraestructura y las comunidades ribereñas, aledañas a los ríos.

La demanda de los materiales de arrastre de los ríos para abastecer diferentes proyectos de vivienda e infraestructura de la región es el factor determinante para su explotación, sin considerar su oferta, que es la condición que primero debería analizarse para definir la viabilidad de explotar o no una fuente.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. GENERAL**

Establecer estrategias de desarrollo sustentable que permitan garantizar la perdurabilidad de la actividad de extracción artesanal de los materiales de arrastre del río Cauca a los areneros del Paso de La Bolsa en el municipio de Jamundí.

### **4.2. ESPECIFICOS**

- Caracterizar el ecosistema río Cauca en el sector donde los areneros artesanales del Paso de La Bolsa realizan su actividad minera.
- Caracterizar la actividad minera que adelantan los areneros artesanales del Paso de La Bolsa.
- Estimar los efectos ambientales que han ocasionado las explotaciones de los materiales de arrastre en el sector del Paso de La Bolsa en relación con los tramos vecinos.
- Plantear estrategias de sustentabilidad orientadas a la preservación de la extracción artesanal por parte de las comunidades del corregimiento del Paso de La Bolsa.

## 5. ANTECEDENTES

El río Cauca ha sido objeto de explotaciones de materiales de arrastre desde principios del siglo pasado. En sus inicios estas actividades se realizaban por medios exclusivamente manuales, es decir, con palas, picas, baldes, canoas y en algunas ocasiones con ayuda de caballos para el cargue del material explotado.

Estas labores de tipo artesanal tienen limitaciones que hacen que los areneros sólo puedan trabajar bajo ciertas condiciones de los ríos: bajos niveles del agua, existencia de playas y barras que afloren, aceptables condiciones climáticas, etc.

En los últimos años el incremento en el número de explotaciones mecanizadas, con malacates y dragas, ha conllevado a que las extracciones manuales hayan ido disminuyendo paulatinamente. No obstante las dificultades económicas, sociales y ambientales los areneros del Paso de la Bolsa son muy posiblemente los únicos que han logrado preservar su actividad manual en el tramo comprendido entre Timba y Buga.

En las últimas dos décadas del siglo pasado el número de dragas en el río Cauca, entre Timba y Paso de La Torre, era cerca de 40, y no había más de 10 malacates. Actualmente existen cerca de 10 dragas, y entre 60 y 70 malacates en el tramo mencionado (CVC, 2008a).

El río Cauca se constituye, además, en uno de los ecosistemas más intervenidos y afectados del Valle del Cauca. Este brinda un gran número de servicios ambientales que se constituyen en el sustento de comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes, como lo es la del Paso de La Bolsa; sin embargo, al mismo tiempo, el río es objeto de sobre-explotación y monopolio por parte de unos pocos que sólo desean satisfacer su ambición momentánea, sin tener en cuenta los impactos negativos sobre el ecosistema fluvial a mediano y largo plazo, y los problemas sociales y económicos que ocasionan.

Los ríos son sistemas altamente complejos y dinámicos, donde sus componentes físicos, se encuentran íntimamente relacionados entre sí, y un leve cambio en alguno de ellos puede desencadenar fuertes efectos negativos, en muchas ocasiones imprevisibles.

La carga sólida de un río se constituye en uno de estos parámetros que puede ser indicador de los procesos que están afectando el ecosistema fluvial; entenderlo es indispensable para establecer el manejo apropiado que se le debe brindar al ecosistema en conjunto, por lo cual debe estudiarse con sumo detalle cada tramo de río en particular y establecer las condiciones y acciones que se presentan en éste.

Las geoformas que constituyen el ecosistema fluvial, tales como, madre viejas, basines, diques naturales, albardones semilunares y los afluentes que alimentan el río, se encuentran íntimamente ligadas entre sí; es así como un cauce al reducir su carga sólida, origina un proceso de degradación del lecho, lo cual a su vez, provoca el abatimiento del nivel freático, afectando los humedales y basines. A su vez, pueden acelerar procesos de avulsión de los cauces, que en condiciones naturales tardaría mucho tiempo en desarrollarse. También la sobre-explotación del río Cauca ocasiona descensos en el nivel de base de sus afluentes, y estos a su vez, generan efectos sobre su entorno físico, biológico y social.

De otra parte, el componente biótico del ecosistema acuático se constituye también en otro factor altamente sensible a los cambios que se ocasionen en éste, por lo cual las poblaciones biológicas asociadas al lecho del cauce y a la zona riparia que se constituyen en indicadores que deben ser evaluados, si se desea conocer el estado del ecosistema.

La extracción de la carga sólida de un cauce (materiales de arrastre) realizada de manera moderada, convenientemente planificada y controlada, y a unas tasas menores a las de su formación, puede tener un efecto beneficioso para la conservación de los cauces de los ríos, en la medida que se conserve la capacidad hidráulica del cauce y se pueda reducir la frecuencia de los desbordamientos e inundaciones. Para ello se deben identificar los aspectos o características del río que todavía estén bien conservados o menos alterados y hasta que



punto los impactos detectados en el tramo de estudio sean una amenaza o causa para una futura degradación. (ANEFA, 2009. P. 29). A su vez, esta actividad, realizada de manera artesanal por parte de areneros manuales tradicionales, es fuente de sustento de las comunidades ribereñas, quienes además, aprovechan los servicios que el ecosistema les brinda, desde el punto de vista biológico y cultural.

La explotación de los ríos es también una actividad que está generando grandes conflictos sociales, ya que es para algunos empresarios y gremios de la construcción, objeto de enriquecimiento por los bajos costos de inversión, mientras que para las comunidades ribereñas es prácticamente el único medio de sustento.

A partir de finales de la década de los 90's, los materiales de arrastre empezaron a ser considerados como un recurso natural no renovable, y como tales, fueron incluidos dentro del Código de Minas. Ambientalmente, esto ha resultado nefasto, ya que su explotación ha sido asemejada a la de una cantera, sin tener en cuenta que este recurso está sometido a procesos dinámicos, que bien pueden darse en escalas de tiempo geológico, pero también humana, puesto que las crecientes presentan de manera periódica los ríos, pueden ser suficientes para renovar el material de arrastre. En ocasiones se explota un cauce de manera intensiva e ininterrumpida durante varios años, lo cual desencadena efectos graves de erosión o degradación del lecho del cauce, afectando el ecosistema fluvial, las poblaciones ribereñas y la estabilidad y funcionamiento de las estructuras hidráulicas y civiles existentes en el cauce, en el lecho y en las márgenes.

## **6. ESTADO DEL ARTE**

Estudios sobre el río Cauca se han adelantado desde hace muchos años, en principio, tendientes a la construcción del Embalse Salvajina, culminado en enero de 1985 y posteriormente con miras a la evaluación del potencial hidrogeológico de la planicie del río,



como fue el Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Cauca entre Santander de Quilichao y Cartago (CVC, Ingeominas, 1971). Su resultado fue una cartografía geomorfológica semidetallada de la planicie del Río Cauca, que aún después de 40 años, sigue vigente y sobre la cual no se ha vuelto a avanzar. Brinda, además, una caracterización estratigráfica del relleno que conforma esta planicie, desde el punto de vista hidrogeológico.

La Flota Mercante Grancolombiana (1986), adelantó el estudio de navegabilidad del río Cauca, el cual incluyó una geología regional e histórica que enmarcaba la evolución morfológica del río y una descripción del cauce y de los suelos que lo conformaban.

En el año 1980, mediante convenio entre la CVC, la Universidad del Valle y Colciencias, se realizó una sectorización morfológica del cauce del río Cauca, desde Tablanca hasta La Virginia, la cual se constituyó en el punto de referencia para los estudios de estabilidad que se han realizado con posterioridad.

Con el fin de evaluar los problemas relacionados con la degradación del río Cauca, aguas abajo de Salvajina, y a su vez, la posible desviación del río Cauca hacia el Proyecto de Calima III, se analizó la posible presencia de una capa estable en el lecho del río Cauca (Shen, 1983).

A partir del año 1999 la CVC en convenio con la Universidad del Valle, inició el Proyecto de Modelación del Río Cauca – PMC, con estudios que se adelantaron en tres fases, hasta su culminación en el año 2007. Como parte de este proyecto se realizaron levantamientos batimétricos del cauce en los años 2000 y 2005 entre Salvajina y La Virginia, los cuales permitieron identificar sectores críticos de profundización del cauce. A su vez se realizaron cálculos de transporte de sedimentos, que arrojaron resultados disímiles que hicieron concluir que aún se está muy lejos de tener datos aproximados en este tema. Se incluyeron también análisis de morfologías históricas comparativas, a partir de fotos aéreas multitemporales, los cuales brindaron información en relación con tendencias de movilidad lateral del cauce.

Como parte de este proyecto también se adelantó una evaluación hidrobiológica y de calidad del agua a lo largo del río Cauca, con el fin de estudiar los organismos acuáticos y detectar

posibles alteraciones de las comunidades biológicas, que pudiesen constituirse en indicadores y marcadores de las condiciones ambientales del ecosistema acuático. En el sector del Paso de La Bolsa se realizaron varios muestreos hidrobiológicos, que se constituyen en línea base para el presente trabajo de investigación (PMC – CVC, 2004b).

De igual manera, en el proyecto del PMC, se realizaron evaluaciones cualitativas de la supuesta capa de control de fondo del cauce, llamada equivocadamente “caliche”, y contrario a lo que se argumentó por parte de Hsieh Wen Shen en el año 1983, esta capa no constituía un limitante para los procesos de erosión de fondo a lo largo del río Cauca, corroborándose su erosión y corte vertical en varios sectores entre Salvajina y La Virginia. (PMC – CVC, 2004a).

En la cuenca del río La Vieja se han realizado estudios de exploración semidetallada de los materiales de arrastre, tendientes a lograr un ordenamiento de la actividad y determinar los impactos sobre la dinámica fluvial del río. (Universidad Nacional de Colombia y Corporación Autónoma Regional del Quindío – CRQ, 2002).

La CVC también ha realizado en diferentes momentos (1984, 2000, 2002, 2008a, 2010) inventarios de sitios de explotación de materiales de arrastre en el río Cauca. El realizado en el año 2008, mostró cambios drásticos en los tipos y número de sitios de explotación, los cuales han obedecido casi que exclusivamente a la demanda del mercado y poco ó nada a la oferta del material en el cauce. Como dato de gran interés se encontró que prácticamente habían desaparecido las explotaciones manuales y que sólo quedaba una en el Paso de La Bolsa, realizada por parte de la comunidad ribereña, a pesar de la gran presión que existía para que mecanizara su actividad (CVC, 2008a).

En enero de 2006 la CVC adelantó un trabajo de caracterización temática general del río Cauca en Morfología e Hidrodinámica, desde Timba hasta Cartago, y también para un tramo de 50 km al sur, comprendidos entre el río La Quebrada y Zanjón Oscuro. Este estudio realizó consideraciones de aspectos biofísicos y de conservación del ecosistema, identificados desde

la óptica de la morfología e hidráulica fluvial, para establecer el corredor de la Franja Forestal Protectora del río Cauca. (Guzmán, 2006).

En el año 2012 la CVC contrató una nueva batimetría del río Cauca, entre Salvajina y La Virginia, con levantamiento de secciones transversales cada 650 m. aproximadamente, con miras a tener evoluciones generales del cauce. De igual manera la CVC en el año 2017 contrató el levantamiento de secciones transversales a lo largo del río Cauca, pero de manera específica para los sectores que cuentan con licencia ambiental o plan de manejo, con el fin de apoyar el control y seguimiento ambiental de estas actividades. Esta contratación incluyó también el levantamiento de cuatro sectores adicionales que si bien no cuentan con instrumento ambiental, son sitios que deben ser monitoreados por antecedentes de problemas de profundización y/o su cercanía con obras de infraestructura de importancia.

A partir de trabajos de fotointerpretación y control de campo se ha evaluado la dinámica del cauce del río Cauca y se ha zonificado la amenaza por inundación, a partir de ello se han planteado opciones de protección del río, que han permitido aproximarse a los procesos internos y externos que han contribuido con los cambios en el comportamiento del cauce (UNIVALLE, 2014).

A nivel nacional se han adelantado estudios de sostenibilidad de las explotaciones de materiales de construcción, encaminados a establecer posibles indicadores o pautas que permitan realizar estas labores de una manera más sustentable. En el Valle de Aburrá en Antioquia, se evaluó la sostenibilidad de la explotación de estos materiales, en relación con la demanda y las tendencias de consumo, frente a las ofertas disponibles (Ramírez, 2008b).

La CVC realizó un estudio integral para calcular el transporte de sedimentos en un tramo de 18 km de longitud a lo largo del río Bugalagrande y se elaboró una modelación matemática a partir de la cual se estimaron zonas del río susceptibles de procesos de agradación y degradación (CVC y Universidad del Valle, 2007a). Producto de este estudio, se definió una metodología para estimar volúmenes máximos de explotación de materiales de arrastre en un río (Ramírez, 2009).

De igual manera, la CVC cuenta con unas guías minero-ambientales que aún se encuentran en revisión, pero a través de las cuales se pretende contar con un instrumento de consulta para los titulares mineros, en cuanto a orientación conceptual y metodológica para adelantar los estudios ambientales y posteriormente implementar la explotación en sitio (CVC - Universidad de Caldas, 2008c).

La Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER elaboró una guía para el seguimiento, control y monitoreo de las explotaciones de materiales de arrastre, la cual es usada como referente de consulta para las actividades mineras que se adelantan en la zona de jurisdicción de esa corporación (CARDER, 2002).

Por su parte la Corporación Autónoma Regional del Quindío – CRQ elaboró lineamientos ambientales para la exploración y explotación sostenible de los materiales de arrastre, los cuales incluso fueron adoptados mediante Resolución No. 739 del 20 agosto de 2003.

En el marco de la Agenda Ambiental conjunta entre el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se suscribió un contrato entre el PNUD y Mauricio Alfonso Rubio para adelantar un diagnóstico de las condiciones técnicas minero ambientales, mediante las cuales se adelanta la explotación de materiales pétreos en lechos de ríos en Colombia y la formulación de recomendaciones técnicas y de necesidades normativas asociadas para realizar esta actividad de manera ambientalmente responsable. Se hace una recopilación de la normatividad que ha enmarcado la explotación de los materiales de arrastre y se realiza una comparación con el marco legal existente en otros países para el manejo de este recurso. Se cuestiona, por primera vez, el concepto bajo el cual se ha enmarcado la explotación de materiales de arrastre, fundamentalmente como un recurso minero no renovable, y finalmente se realizan recomendaciones en torno a lo que debería ser el manejo de este recurso, tanto desde el punto de vista normativo como técnico (Rubio, 2013).

Recientemente se formuló y aplicó un proceso metodológico soportado en Modelación Hidráulica y de Transporte de Sedimentos, tendiente a la planificación y regulación de la explotación de materiales de arrastre en cuerpos fluviales a partir de análisis de renovabilidad, (Gutiérrez, 2015).

Desde el punto de vista socio-económico, Pérez y Tamayo (2011) adelantaron una investigación de las relaciones hombre - naturaleza en la comunidad del Paso de La Bolsa (Jamundí), con el fin de establecer sus necesidades prioritarias y a partir de ellas definir una propuesta de educación ambiental. Esta investigación involucró una descripción de la historia del corregimiento y de aspectos sociales, culturales y económicos de esta comunidad. Este estudio contiene además una importante información social y económica de la población objeto de estudio.

A nivel internacional se han realizado algunos trabajos sobre las explotaciones de materiales de arrastre, uno de ellos presenta los principales tipos de explotación en cauces y la pertinencia de seleccionar el más adecuado, de acuerdo con las características de cada caso específico (Kondolf, 1997 y 2001).

En España se han planteado guías que permiten adelantar la explotación de ríos, manteniendo buenas prácticas, en procura de explotaciones ambientalmente sustentables. A partir del caso del río Ebro, una de estas guías expone el manejo que se le da en España a los materiales de arrastre desde el punto de vista conceptual y legal, además, presenta un paralelo con el manejo de estos materiales en otros ríos de Europa, tales como el Sena, Danubio, Po, etc. (ANEFA, 2009).

## **7. METODOLOGIA**

La presente investigación se adelantó de manera ordenada con el fin de lograr cada uno de los objetivos planteados.

En primera instancia se realizó la recopilación y la revisión de información secundaria para todos los aspectos biofísicos que caracterizan el ecosistema, tales como parámetros y procesos geomorfológicos del cauce, tipo de geoformas y litologías que conforman el cauce y sus zonas más cercanas, aspectos climáticos e hidrológicos, transporte de sedimentos y fuentes de aporte, características bióticas del ecosistema río Cauca en la zona de estudio y características de la actividad minera en el sitio y sus zonas vecinas. De igual manera se consultaron, recopilaron y analizaron las fotos aéreas, cartografías y topobatimetrías multitemporales disponibles para la zona de estudio. Desde el punto de vista cartográfico se trabajó con el levantamiento realizado en el año 1999, a escala 1:10.000, pero con la actualización del cauce del río Cauca del año 2013.

Se realizó un trabajo de campo con el fin de obtener información morfológica del cauce y biológica del ecosistema río Cauca en la zona de estudio.

A partir de la información secundaria y primaria de campo se realizó una evaluación morfológica multitemporal del cauce, tanto horizontal, como vertical. La primera con base en las fotos aéreas disponibles, entre los años 1946 y 2016, las cuales se confrontaron con las morfologías históricas comparativas existentes hasta el año 2014 (UNIVALLE, 2014). Este análisis permitió tener una morfología histórica comparativa detallada para el tramo de cauce de aproximadamente 5 km, a una escala 1:10.000.

Se realizó también una evaluación morfológica vertical del cauce a través del tiempo, para lo cual se tuvieron en cuenta las topobatimetrías realizadas en años anteriores, tanto para el proyecto de modelación del río Cauca – PMC (2003 – 2005), como la más reciente realizada por la CVC en el año 2012. También se tuvieron en cuenta las topografías que se poseen de proyectos más antiguos, tales como el estudio de navegabilidad del río Cauca (Flota Mercante Grancolombiana, 1986), estudio morfológico (CVC, 1980) y estudios puntuales para diferentes proyectos. Esta información base fue comparada con el levantamiento topobatimétrico realizado para el presente trabajo de investigación, en un tramo de cauce de aproximadamente cinco kilómetros de longitud.

A partir de estas evaluaciones morfológicas se establecieron tendencias de movilidad horizontal y vertical, con miras a determinar procesos de agradación y degradación del cauce y zonas de erosión lateral o de fondo.

Se efectuó una caracterización del lecho, desde el punto de vista de sedimentos de fondo, los cuales son el objeto de explotación minera por parte de los areneros artesanales del Paso de La Bolsa. Para ello se realizó una revisión de estudios y artículos que han evaluado diferentes metodologías de cálculo para estimar la carga de sedimentos de un cauce (Ramírez et al. 2010; CRQ, 2002). Adicionalmente se tomó como base el muestreo realizado en el año 2004, como parte del Proyecto – PMC, y se analizó conjuntamente con la información levantada en campo, mediante los recorridos a lo largo del río, con ayuda de los equipos utilizados por los areneros para la extracción de la arena. Estos datos y la información obtenida en campo resultaron de gran utilidad para el análisis de la capacidad de transporte y tipo de carga que se deposita a lo largo del cauce en cuanto a zonas de agradación y conformación granulométrica del lecho del cauce.

A partir del análisis morfológico y del levantamiento topobatómico del cauce del río Cauca en un tramo de 4,85 Km, realizado en desarrollo de la presente investigación, se evaluó la actual estabilidad del cauce, con base en los modelos y patrones de estabilidad de Schumm, 1977.

A su vez se realizó una evaluación de las especies acuáticas asociadas a los sedimentos que conforman el lecho del cauce del río Cauca, con especial énfasis sobre la población de macroinvertebrados acuáticos, los cuales se constituyen en importantes indicadores de la calidad del ecosistema.

Para evaluar los efectos de las actividades mineras en el cauce del río Cauca se realizó la revisión y análisis de la información disponible en diferentes entidades, especialmente en la CVC, donde se reportan problemas asociados con afectaciones a asentamientos humanos, erosión en cimientos de puentes, bocatomas, muros, etc. Sumado a esto, se levantó

información primaria a partir de los recorridos que se realizaron a lo largo del río durante varias jornadas de campo.

Específicamente con la comunidad de areneros artesanales se adelantaron investigaciones sobre dos aspectos fundamentales: los métodos de explotación y la organización jurídico-social que enmarca su actividad. En cuanto al primero, fue un factor fundamental conocer de sus métodos de explotación, los cuales son producto de un profundo conocimiento que tienen del río, de experiencia propia y de la que han heredado de sus ancestros, quienes, por lo general, también se dedicaron a esta labor minera. Se aplicaron entrevistas de tipo semiestructurado con los areneros que tienen mayor antigüedad en estas labores, lo cual permitió mantener un orden en el trabajo de observación (ver Anexo 1), de tal manera que no se perdieran detalles que pudiesen ser de gran importancia para la investigación, (Spradley, 1979 y 1981). Para el segundo aspecto se revisaron las formas de organización que actualmente tiene la comunidad de areneros y cómo están adelantando el proceso de legalización de minería ante la entidad minera.

De otra parte, desde el punto de vista legal se realizó una revisión y análisis crítico de la evolución normativa que ha sufrido el manejo de los materiales de arrastre en las últimas décadas y sus implicaciones sobre las actividades mineras, tanto de tipo manual como mecanizado, al igual que los impactos ambientales que esto ha desencadenado.

Por último, se realizó un análisis integral de toda la información recopilada, levantada en campo, y procesada y evaluada con diferentes metodologías y modelos, con el fin de establecer indicadores y criterios, a partir de los cuales se definieron estrategias de manejo de la explotación que permitan preservar la actividad minera artesanal hacia un futuro, para los areneros del Paso de La Bolsa.



## 8. MARCO CONCEPTUAL

### 8.1. Desarrollo Sustentable

El concepto de desarrollo sustentable ha sido analizado desde tres corrientes de pensamiento diferentes (Foladori y Pierri, 2005): Sustentabilidad fuerte, la cual se basa en la teoría de la economía ecológica, cuyo fundador fue el economista Herman E Daly; la corriente de la sustentabilidad débil o ambientalismo moderado que ha estado en cabeza de diferentes organismos internacionales, y la corriente humanista crítica que ha estado en manos de los anarquistas (ecología social) y los marxistas (forma de organización social del trabajo). A partir del año 1987 se empieza a manejar como tal el concepto de desarrollo sustentable, a través del Informe Brundtland “Our Common Futuro”, que lo define como la forma de garantizar la capacidad que tiene un sistema para satisfacer las necesidades actuales, sin sacrificar los requerimientos futuros.

Desde el punto de vista minero, el Artículo 194 del Capítulo XX del Código de Minas (Ley 685 de 2001) define el término Sostenibilidad como *“el deber de manejar adecuadamente los recursos naturales renovables y la integridad y disfrute del ambiente, es compatible y concurrente con la necesidad de fomentar y desarrollar racionalmente el aprovechamiento de los recursos mineros como componentes básicos de la economía nacional y el bienestar social. Este principio deberá inspirar la adopción y aplicación de las normas, medidas y decisiones que regulan la interacción de los dos campos de actividad, igualmente definidos por la ley como de utilidad pública e interés social”*. Es decir, apunta a un aprovechamiento racional del recurso, conjugando los componentes económicos y sociales.

A pesar de lo anterior, mucho se ha pensado que el concepto de desarrollo sustentable es contradictorio y poco aplicable a la realidad, porque ambos términos se agreden entre sí (Macedo, 2005); sin embargo, para el caso de los materiales de arrastre es posible aplicar métodos de explotación que redundan en un desarrollo sustentable para las comunidades ribereñas que ancestralmente se han dedicado a estas labores, con unas prácticas del manejo

del recurso basados en su experiencia propia, la cual permite aprovechar el recurso pero siempre pensando en preservarlos para sus descendientes.

Los términos sostenibilidad o sustentabilidad, si bien albergan diferencias, por estar encaminado el primero a lo que ha de permanecer firmemente establecido, asentado y fijo, y el segundo a lo que requiere que se lo esté alimentando, proporcionándole los medios de sobrevivencia y de persistencia a fin de que pueda extender su acción en el tiempo y el espacio (Coen, 2006), en el presente trabajo de investigación no se serán manejados de forma indiferente; esto debido a que la formación de los materiales de arrastre corresponde a un proceso natural, producto de la erosión de una cuenca de drenaje por factores hídricos, la cual se presenta aún sin que el hombre ejerza algún tipo de intervención; es decir desde esta óptica se podría indicar que la explotación de los materiales de arrastre podría ser vista como una actividad sostenible; sin embargo, dado que el hombre ha ejercido una presión cada vez más fuerte sobre este recurso, puntualmente debe ser considerada como una labor sustentable, que puede ser realizada siempre y cuando se le permita periódicamente recuperarse.

En este sentido, más allá de establecer diferencias semánticas entre ambos términos, lo que debe interesar es entender el concepto de sustentabilidad o sostenibilidad como un “sistema eco-socio-técnico”, donde las partes que lo componen se afectan y se regulan entre sí; es decir, los materiales de arrastre pueden constituirse en factores determinantes de la estabilidad de un cauce que afectan las actividades humanas que se realizan en la planicie aluvial, pero a su vez son insumos importantes para el desarrollo de las comunidades vecinas a los ríos. Esta situación hace que la explotación controlada de los cauces contribuya con el mantenimiento de su estado de equilibrio, y, a su vez, con fuentes de desarrollo para el hombre, propendiendo por una sustentabilidad que permita avanzar hacia una relación armónica entre la economía, el ambiente y la sociedad, sin pretender frenar el progreso o volver a estados primitivos (Calvente, 2007).

## 8.2. Los materiales de arrastre

El concepto “materiales de arrastre” ha sido utilizado desde no hace más de dos décadas, cuando las corporaciones autónomas dejaron de manejar integralmente estos materiales como un recurso natural renovable, a través del Código de los Recursos Naturales Renovables (Decreto – Ley 2011 de 1974), para empezar a ser manejado como un recurso minero (Decreto 2655 de 1988 y posteriormente Código de Minas – Ley 685 de 2001), conforme lo dictaminó la Sentencia 221 de 1997:

*“Mientras la regeneración de los suelos de los ríos puede no tomar tiempos largos, lo cierto es que tal renovación no implica una reposición de la cantidad global de arena, piedra y cascajo, la cual existe en forma limitada; por lo cual, cualquier retiro de materiales desde el lecho del río, implica la sustracción de materiales al sistema total, ya que no es posible reponer tales materiales, al menos en el tiempo de escala humana. La Corte concluye que la piedra, la arena y el cascajo constituyen claramente recursos naturales no renovables”.*

Lo anterior puede ser bastante discutible, puesto que los materiales de arrastre bien pueden recuperarse en cuestión de meses o años, ya que los procesos naturales de formación no cesan en la cuenca de origen, ligados precisamente a dinámicas naturales, donde no necesariamente tienen injerencia las actividades antrópicas. El asunto radica en la velocidad o tasa de explotación de estos materiales, la cual deberá ser menor a la de formación para que pueda mantenerse un estado de equilibrio de los mismos, y, por consiguiente, pueda mantenerse la actividad a través del tiempo.

En este sentido, el manejo fue radicalmente dividido para que la entidad minera quedara con la potestad inicial de otorgar el título minero, obedeciendo casi que exclusivamente a requisitos legales aspectos técnico-mineros, y las autoridades ambientales se limitaran a evaluar solamente lo ambiental, como si ambos temas fueran por caminos diferentes.

Ahora bien, el recurso material de arrastre, jurídicamente está enmarcado como no renovable, y como tal está regido por el Código de Minas (Ley 689 de 2001), sin embargo, debe ser entendido desde el punto de vista conceptual como un recurso renovable, ya que su formación se puede dar en escala de tiempo geológico, pero también humano, e incluso en cuestión de meses y días.

En este sentido resulta bastante válido el planteamiento que realiza Rubio (2013), en cuanto a que se debe ajustar la definición de materiales de arrastre, establecida en el Artículo 11 de la Ley 685 de 2001, para aclarar que los materiales de arrastre son sólo aquellos ubicados en el cauce mayor, y que se deben dejar por fuera de esta definición “otros terrenos aluviales”, donde se incluyen las terrazas aluviales, las cuales poseen un comportamiento que bien podría asimilarse técnica y ambientalmente a un yacimiento tipo cantera.

Con base en lo anterior, más allá de una evaluación o valoración eminentemente minera, esta actividad será analizada en esta investigación desde un enfoque ambiental, la cual debe ser realizada, siempre y cuando se tengan en cuenta las condiciones del cauce y su capacidad de recarga.

### **8.3. Los ecosistemas acuáticos**

En la presente investigación este concepto estará referido al ecosistema acuático río Cauca, que para el caso se puede definir como el sistema conformado por el cauce, las orillas y la planicie más cercana, junto con las comunidades biológicas que habitan en ellas. La estructura del ecosistema está ligada a la forma y dimensiones del cauce, a las condiciones físico-químicas del agua, a la diversidad de hábitats y a las comunidades biológicas que se establecen en el mismo, (Elosegui y Sabater, 2009).

El comportamiento del ecosistema, de por sí naturalmente complejo, está influenciado por factores biofísicos, pero también por las actividades antrópicas que se desarrollan en él. Las explotaciones de los materiales que conforman el cauce del río afectan, entre otros, a las comunidades de macroinvertebrados que habitan en el lecho y las márgenes del cauce, los

cuales son, a su vez, el alimento de otras especies de fauna (aves, reptiles y anfibios) que poseen su hábitat en las riberas y planicie del río, constituyéndose en las especies que mejor reflejan las condiciones de calidad del agua de los ecosistemas acuáticas, gracias al el papel que desempeñan por su nivel de sensibilidad frente a modificaciones del componente físico (CVC y Univalle, 2004b).

## **9. CARACTERIZACIÓN DEL ECOSISTEMA RÍO CAUCA EN EL SECTOR DEL PASO DE LA BOLSA**

### **9.1 COMPONENTE FISICO**

Para la formación de los materiales de arrastre deben existir condiciones litológicas apropiadas en las cuencas aferentes que suministren los sedimentos con características litológicas y de resistencia tales, que soporten la acción erosiva del flujo y de los lechos rocosos que atraviesan durante su transporte hasta el sitio de depósito.

Debe tenerse en cuenta que la presencia de presas con el tamaño de la de Salvajina ocasionan la retención de sedimentos y alteran las características del fondo del río, su grado de resistencia a los procesos de socavación lateral y de fondo, haciendo el canal mucho más susceptible a ser afectado por agentes internos o externos, el cual se constituye en trampa de gran cantidad de sedimentos provenientes de la parte alta de la cuenca del río Cauca (CVC - Asocars – Univalle, 2014).

A continuación, se realiza una descripción de la conformación litológica de las cuencas que constituyen las fuentes de producción de los materiales de arrastre, que llegan al Paso de la Bolsa y que están aguas abajo de Salvajina.

#### **9.1.1. Geología de la cuenca de aporte**

Las cuencas hidrográficas más importantes que se localizan entre la presa de Salvajina y el Paso de la Bolsa, son: por la margen izquierda los ríos Claro y Timba; por la margen derecha los ríos La Quebrada, Quinamayó, La Teta y Ovejas. Ver Tabla 1.

RIO	AREA (Ha)	FORMACIONES LITOLOGICAS DE APORTE
Claro	23.180	30% Formación Volcánica (diabasas y basaltos). 5% Formación Ferreira (conglomerados cuarzosos)
Timba	39.882	30% Formación Volcánica (diabasas y basaltos)
La Quebrada	19.722	No cuenta con formaciones de aporte.
Quinamayó	28.950	No cuenta con formaciones de aporte.
Teta	18.121	Sólo los cuerpos porfiríticos, que no superan un 10% de la cuenca, se constituyen en fuentes de aporte.
Ovejas	81.330	Cuarcitas del Complejo Cajamarca, gabros y basaltos de la Formación Amaime, y pórfidos granodioríticos. No superan el 30% de la cuenca.

Tabla 1. Principales cuencas que drenan hacia la zona de estudio

**Cuenca Río Claro:** Su área de drenaje corresponde a 23.180 Ha. La parte alta se encuentra formada por la Formación Cisneros, consistente en rocas de bajo grado de metamorfismo, tipo filitas y pizarras. El cauce principal del río Claro discurre casi paralelamente a la dirección predominante de foliación de estas rocas. La parte media a alta, es cruzada por rocas de la Formación Volcánica (diabasas y basaltos), cuyo rumbo o disposición general es fundamentalmente perpendicular a la dirección del cauce principal. Ya en la zona media a baja de la cuenca se encuentran paquetes de rocas sedimentarias, de las Formaciones Ampudia, Guachinte y Ferreira (Nivia, 2001), constituidas por intercalaciones de chert, lodolitas, areniscas y conglomerados. A partir de lo anterior, se deduce que las rocas de la Formación Volcánica se constituyen en la principal fuente de aporte de sedimentos para la formación de materiales de arrastre, ya que las rocas metamórficas de la parte alta, se fragmentan a lo largo de la foliación en delgadas lajas que sufren un mayor desgaste y soportan una menor longitud de transporte. Las rocas sedimentarias cuarzosas, en especial

los conglomerados cuarzosos de la Formación Ferreira, pueden representar algún aporte menor de sedimentos.

**Cuenca Río Timba:** Esta cuenca de 39.882 Ha, atraviesa en su parte alta fundamentalmente rocas de la Formación Cisneros, es decir filitas y pizarras, que no constituyen en sí buenas fuentes para los materiales de arrastre que se explotan hacia aguas abajo, en el río Cauca. La parte media cruza rocas ígneas de la Formación Volcánica que se encuentran en general con bajo grado de meteorización, las cuales se constituyen en el principal aporte hacia los depósitos aluviales del mismo río Timba y aguas abajo del río Cauca. Las rocas sedimentarias que cruza en la parte baja, corresponden a un paquete de menor espesor y, además, están formadas por materiales de menor competencia y resistencia a la acción abrasiva del flujo, por lo cual en unas cortas longitudes de transporte se convierten en fracciones finas, tipos limos o arcillas.

**Cuenca Río La Quebrada:** su cuenca posee un área de 19.722 Ha y está formada por los ríos Chiquito y Grande, los cuales se unen a su paso por la cabecera municipal de Caloto (Administración municipal de Caloto, 2001). Esta cuenca se encuentra constituida en la parte alta por rocas ígneas de la Formación Amaime, principalmente diabasas y basaltos, que aportan materiales con adecuada competencia para los depósitos de aguas abajo.

**Cuenca Río Quinamayó:** Su área de drenaje es de 28.950 Ha. Se encuentra formada predominantemente por depósitos volcánicos de la Formación Popayán los cuales recubren pórfidos cuarzodioríticos que sólo localmente alcanzan a aflorar, (Orrego y París, 1999). Estas últimas rocas aportan un mínimo de sedimentos de buena calidad.

**Cuenca Río Teta:** Su cuenca posee un área de drenaje de 18.121 Ha., y litológicamente está constituida de manera muy semejante a la cuenca del río Quinamayó, es decir por sedimentos volcánicos de la Formación Popayán que han recubierto los cuerpos porfiríticos de composición granodiorítica, (Orrego y París, 1999). Estos cuerpos porfiríticos son las únicas

unidades litológicas que conforman potenciales fuentes de material de arrastre, pero sólo alcanzan a aflorar puntualmente en la cuenca.

**Cuenca Río Ovejas:** con un área de drenaje de 81.330 Ha, cruza en la parte alta terrenos formados por rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, consistentes en esquistos y cuarcitas, pero también rocas ígneas básicas de la Formación Amaime, más localizadas y puntuales. En la parte media la red de drenaje de esta cuenca surca pórfidos cuarzodioríticos que están cubiertos por una espesa secuencia de sedimentos volcánicos de la Formación Popayán, (CVC – Univalle, 2007b). De todas estas unidades, sólo la fracción de cuarcitas del Complejo Cajamarca y las rocas ígneas de la Formación Amaime (que abarcan pequeñas áreas de la cuenca), al igual que los pórfidos granodioríticos de la parte media de la cuenca se constituyen en buenos aportes para la conformación de materiales de arrastre.

#### **9.1.2. Geología local:**

La zona de estudio se encuentra conformada fundamentalmente por sedimentos aluviales que han sido depositados por el río Cauca y sus principales afluentes a partir del Holoceno. Estos se encuentran encajonados por las formaciones sedimentarias del Grupo Cauca (Chimborazo, Guachinte, Ferreira y Esmita) en la Cordillera Occidental y por rocas ígneas básicas cretácicas de la Formación Amaime y rocas metamórficas paleozoicas del Complejo Arquía, en la Cordillera Central (Nivia, 2001).

Los sedimentos que conforman la planicie aluvial del río Cauca alcanzan un máximo espesor hacia su parte central, estimado en 1,7 km. a la altura de la ciudad de Cali (Ingeominas y Dagma, 2005), los cuales en su parte más superficial muestran las evidencias de la actividad reciente del río Cauca, de acuerdo con sus diferentes regímenes de energía y posiciones geográficas, expresadas en unidades litológicas y geomorfológicas con características diferentes entre sí. Ver Figura 2 y Anexo 1.



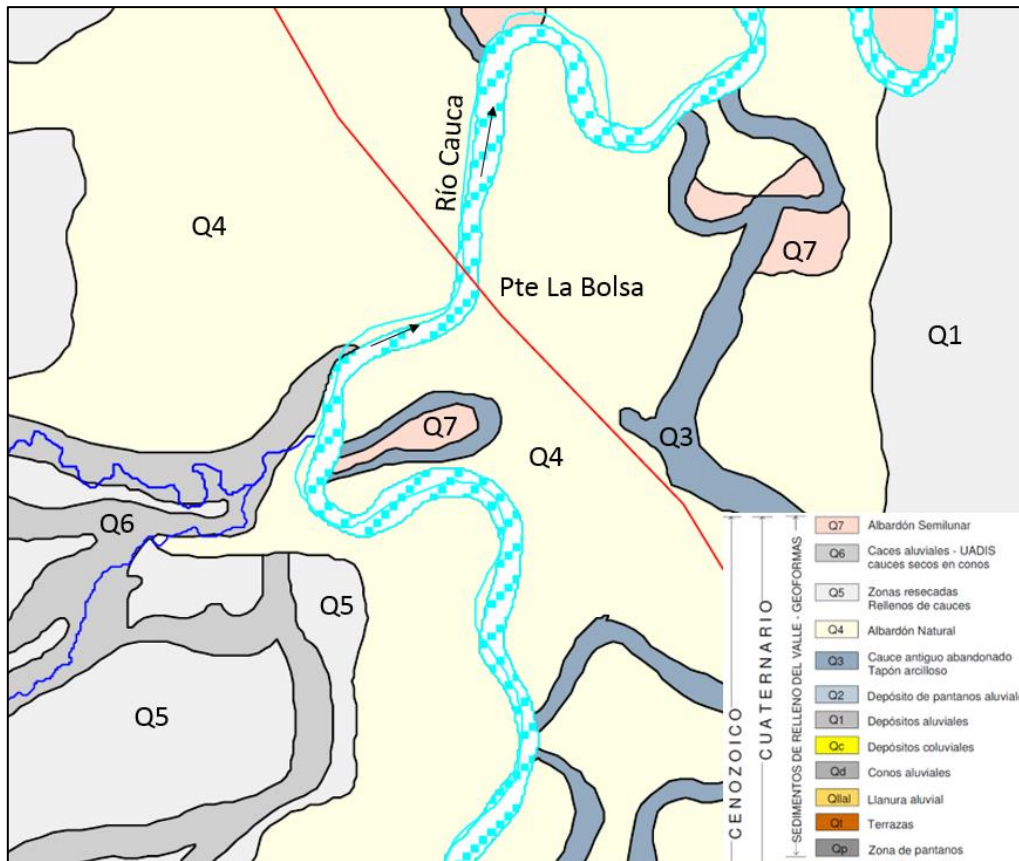


Figura 2. Geología local para la zona de estudio. Fuente Ingeominas (1971).

### 9.1.3. Unidades geomorfológicas

Como se indicó anteriormente, la capa más superficial del río Cauca (los primeros 10 a 15 m. del terreno natural) muestran los procesos y evolución que ha tenido la planicie en su tiempo más reciente. Factores tales como el nivel de energía, la posición geográfica y los regímenes del clima, entre otros, definen diferentes unidades geomorfológicas con características sedimentológicas específicas para cada una.

La delimitación y cartografía de estas unidades se basó en información secundaria (Ingeominas, 1971), (CVC y Univalle, 2000), (CVC, Univalle y Asocars, 2014), (CVC y Univalle, 2007b), fotointerpretación y control de campo, conforme como se definen a continuación:

**Barras y playas aluviales (Q1):** correspondiente a los sedimentos más recientes acumulados a lo largo del cauce activo, en forma de barras, playas e islas, que sufren una acumulación o evolución vertical. Estas unidades se constituyen en los materiales de arrastre que son objeto

de explotación por parte de los mineros artesanales y mecanizados, por su carácter más reciente que les imprime una mejor calidad y facilidad de extracción. Su composición litológica y granulometría es propia de lo que predomina en cada sitio de depositación, pero comúnmente son sedimentos gruesos (arenas y gravas). En la zona de estudio se localizan a lo largo del río Cauca, como playas en medialuna adosadas a los albardones semilunares, barras longitudinales e islas.

*Depósitos de pantanos aluviales y zonas pantanosas permanentes (Q2):* se trata de depósitos ubicados de forma posterior a los albardones o diques naturales, que se encuentran en bajos topográficos, donde se depositan sedimentos predominantemente finos, tipo limos y arcillas que alcanzan espesores máximos de 1.5 m. Como rasgo característico pueden presentar líneas antiguas de desagüe que después de muchas inundaciones son borradas. Específicamente para la zona de estudio no se observan estas geoformas, posiblemente debido a la fuerte intervención que han sufrido para habilitarlas para la agricultura.

*Cauces antiguos abandonados y tapones arcillosos (Q3):* Se relacionan con los brazos de comunicación de una madre vieja con el cauce activo, los cuales se van llenando con sedimentos finos tipo arcilla, hasta aislar completamente la madre vieja, dejándola como una laguna semilunar. Se aprecian aún dos cauces abandonados sobre la margen derecha del río Cauca, en terrenos del departamento del Cauca, denominados El Chuchal y El Mango, los cuales se desarrollaron antes del año 1957 (según registros fotográficos existentes – Vuelo R-375, fotos No. 110 y 111).

*Albardones naturales (Q4):* Corresponden a los diques naturales o crestas paralelas al curso del río, que logran su mayor altura cerca a la orilla y van disminuyendo a medida que se alejan de esta. Normalmente están formados por sedimentos finos tipo arenas finas y limos. Ocupan la mayor parte de la planicie aluvial que conforma la zona de estudio.

*Zonas reseca das y rellenos de cauce (Q5):* son zonas de antiguos pantanos formados comúnmente por cauces naturales que, al llegar cerca de su desembocadura, pierden

capacidad de transporte, ocasionando desbordamientos e inundaciones que permanecen gran parte del tiempo, hasta que finalmente son secadas natural o artificialmente. Su composición granulométrica es principalmente sedimentos finos, tipo limos y arcillas. Estas unidades son las que mayor intervención antrópica han sufrido, a través de su llenado y levantamiento con el fin de habilitarlas para la actividad agroindustrial y desarrollo de asentamientos humanos (CVC, Univalle y Asocars, 2014).

*Cauce aluvial y cauces secos en conos (Q6):* Se trata de las geoformas elongadas y angostas asociadas a antiguos cauces que entregaban al río Cauca y a lo largo de los cuales se depositaron materiales predominantemente gruesos. Se ubican contiguos a las zonas desecadas (Q5) y a los Q4. En la zona de estudio se encuentran este tipo de geoformas a lo largo de los cauces de los ríos Claro y Guachinte, en la zona cercana a su desembocadura, donde han divagado y desplazado su curso a través de los años.

*Albardones semilunares (Q7):* Son formas semicirculares asociadas al lado interno de los meandros o curvas fuertes de cauce. Tienen formas estriadas en dirección a la curva que desarrolla el flujo, pero van creciendo en sentido perpendicular a este y son las causantes de la migración del meandro. Se encuentran presentes en las curvas más fuertes y desarrolladas de la zona de estudio, y al interior de algunos de los cauces abandonados, donde aún sus rasgos son evidentes.

Las anteriores unidades geomorfológicas no son estáticas en el tiempo, si no que van evolucionando, en la medida en que la planicie aluvial es dinámica y sufre cambios, tanto de tipo natural como antrópico. De esta manera, la cartografía geomorfológica elaborada para la hidrogeología del Valle del río Cauca (Ingeominas - CVC, 1971) o la levantada en la primera década de este siglo (Nivia, 2001), puede diferir de la que se realice en la actualidad. Adicionalmente, la fuerte intervención antrópica que ha sufrido la planicie del río Cauca ha conllevado a la desaparición paulatina, e inclusive a veces muy rápida, de los rasgos o expresiones superficiales de estas unidades geomorfológicas. La evolución natural de los albardones semilunares puede verse afectada por procesos de profundización del cauce que

se presenten aguas abajo, transformando estas unidades en barras de punta, que poco a poco van siendo cortadas por el flujo en su parte posterior, tal como se está presentando con la curva ubicada aguas abajo del puente La Bolsa, sobre la margen izquierda, Ver Figura 3.



**Figura 3.** Imagen tomada del Google Earth, de junio de 2017, donde se aprecian las erosiones que afecta al estribo de la margen izquierda. Aguas abajo en línea punteada se observa también un incipiente corte de curva.

#### 9.1.4. Aspectos hidráulicos locales

Los parámetros hidráulicos junto con aspectos morfológicos se conjugan para determinar el comportamiento y la estabilidad de un cauce. Es así como los parámetros geométricos del cauce (ancho, profundidad y pendiente) están influenciados por el caudal, la carga de sedimentos y la geología. Ver Anexo 4.

El comportamiento del río Cauca, en cuanto a aspectos hidráulicos y geométricos, marca tendencias diferentes después de la construcción del embalse de Salvajina, especialmente en los sectores más cercanos a éste. Para el caso del sector del Paso de La Bolsa es posible deducir que los valores de ancho, profundidad y velocidad del flujo, para un caudal medio multianual ( $Q_{med}$ ) y para el caudal de creciente más probable (estimado en un período de retorno de 1,58 años), han disminuido después de la construcción de Salvajina, (CVC – Univalle, 2007b).

**9.1.4.1. Ancho:** El cauce del río Cauca muestra una tendencia general al aumento en el ancho a banca llena en dirección aguas abajo, en la medida que el caudal aumenta con la descarga de los tributarios (CVC – Univalle, 2000); sin embargo, el tramo de estudio más o menos ha conservado su ancho a banca llena a través de los años, aunque localmente ha presentado tendencias a la disminución, especialmente aguas abajo del puente La Bolsa.

Entre los años 2012 y 2016, el ancho del cauce del río Cauca, aguas arriba del Puente La Bolsa (tramo de los areneros manuales), ha sufrido una disminución promedia del 13%, y aguas abajo del Puente (tramo explotado mecanizadamente) del 16%. Localmente se presentan irregularidades notorias y bruscas en el ancho, ocasionados por sobre-explotaciones de tipo mecanizado, especialmente aguas abajo del Puente La Bolsa, las cuales inicialmente propician una profundización del lecho, y posteriormente su ampliación. El arrojado de escombros que realizan los propietarios de las dragas para tratar de mitigar los procesos de erosión lateral, aguas abajo del Puente La Bolsa, incrementa estas irregularidades, estrangulando algunos tramos del cauce apenas a unos 70 a 80 m. de ancho, que aumentan a 130 m, apenas en una distancia de 150 m. aguas arriba o aguas abajo. Ver Figura 4.

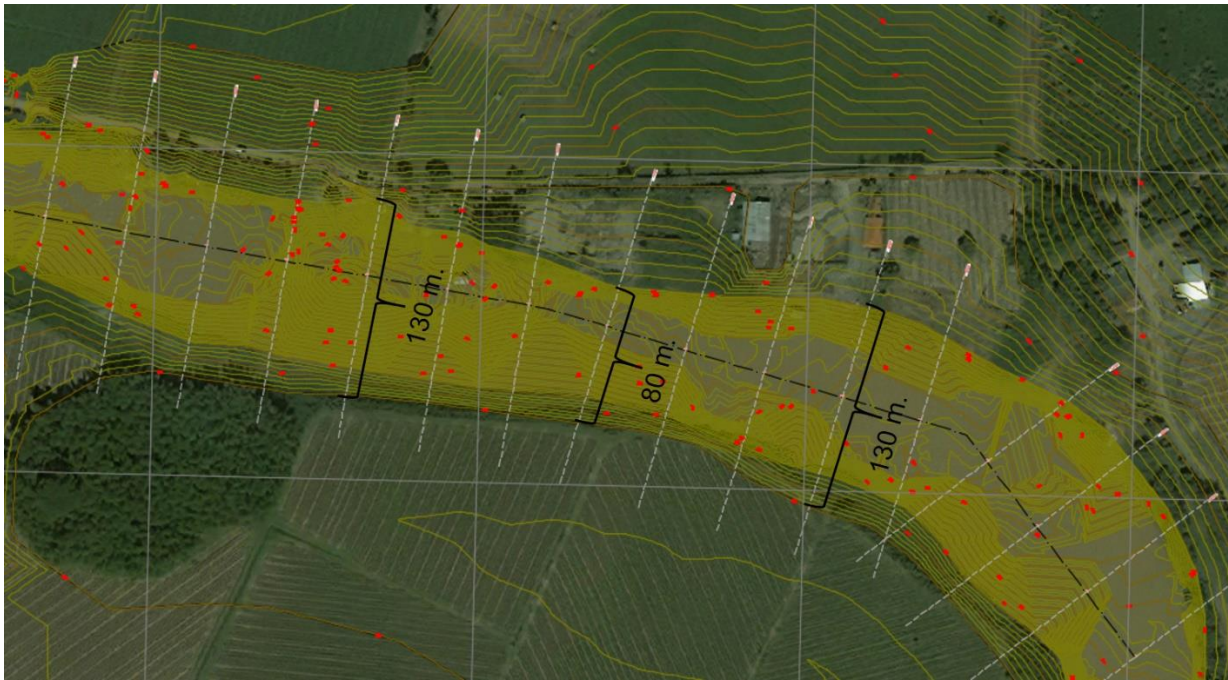
Actualmente el ancho a banca llena del cauce del río Cauca, para la zona de estudio, calculada a partir del levantamiento topobatimétrico de mayo de 2017, muestra variaciones notorias, a lo largo de los 4,5 Km. de cauce. En el tramo aguas arriba del puente, donde han laborado los areneros manuales, el cauce tiene un ancho promedio de 150 m., con excepción del sector de más aguas arriba donde se ubica una explotación mecanizada que estrecha el cauce a 100 m. Aguas abajo del puente, donde se realiza explotación exclusivamente de forma mecánica, el ancho del cauce es de 100 m. en promedio, aunque puntualmente alcanza unos 70 a 80. Ver Figura 5 y Anexo 2.



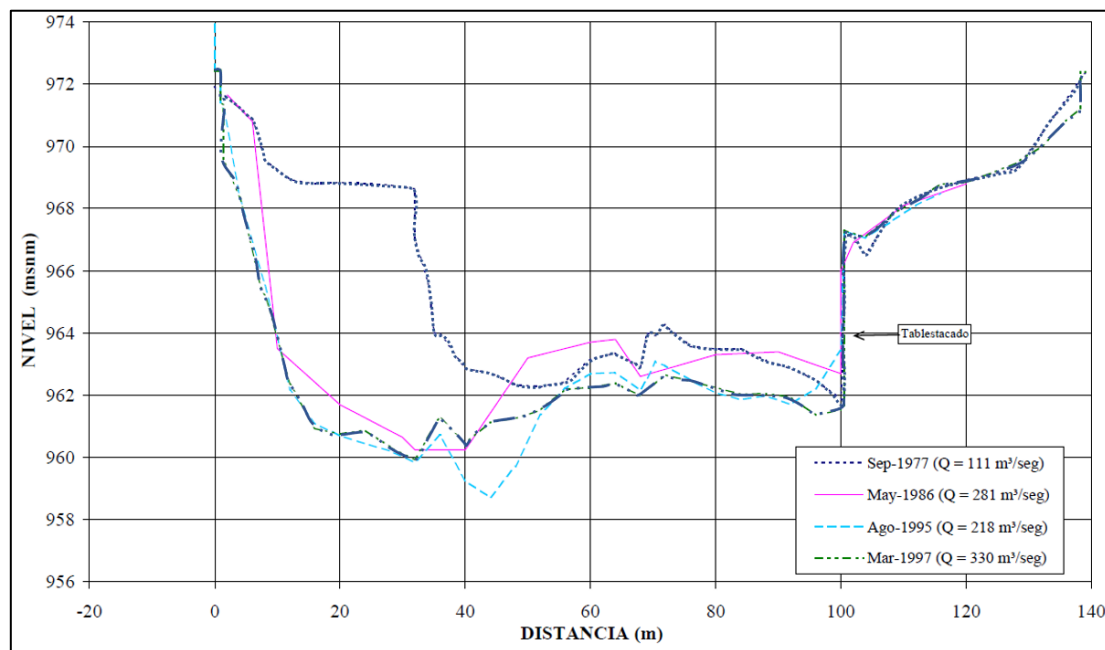


**Figura 4.** Erosión lateral para el año 2012, aguas abajo del Puente La Bolsa. Fuente Google Earth.

**9.1.4.2. Profundidad:** De acuerdo con los registros históricos que se tienen para los años 1977, 1986 y 1995, la sección transversal en el puente La Bolsa, sufrió una profundización aproximada de 2 m. entre 1977 y 1995, muy posiblemente asociada con la puesta en operación de la represa de Salvajina (CVC – Univalle, 2000). Ver Figura 6. A partir del año 1995 y hasta el 2006, la profundidad hidráulica y el área a banca llena para este sector sufrió nuevas profundizaciones del orden de los 1,5 m.



**Figura 5.** Irregularidades en el ancho del cauce, aguas abajo del Puente La Bolsa, en sitios de explotación mecanizada. Fuente: Topografía del año 2017.

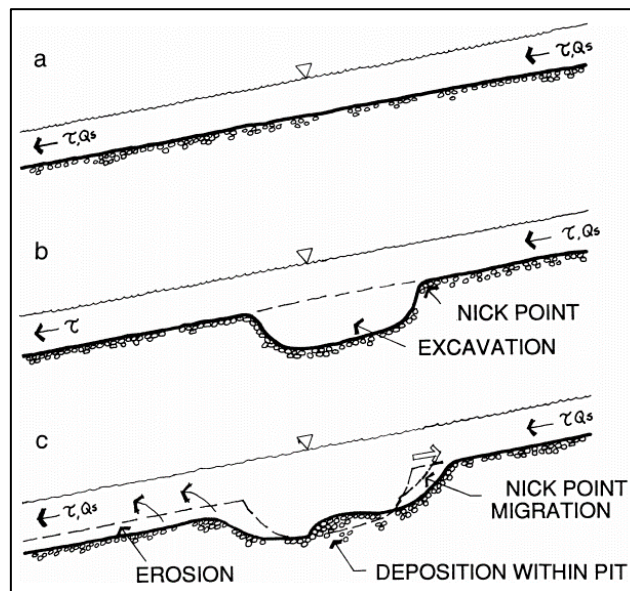


**Figura 6.** Secciones transversales en el sector del Puente del Paso de La Bolsa, a través de los años (1977 – 1997). (CVC – Univalle, 2000).

Para el año 2012 el cauce en el tramo de estudio alcanzaba una profundidad promedio de 9,45 m., pero puntualmente presentaba profundizaciones de hasta 12 m. asociadas a curvas externas o explotaciones mecanizadas.

Actualmente el cauce en el sector del Paso de La Bolsa, alcanza profundidades en promedio de 8 m. aguas arriba del puente y de 12 m. aguas abajo, aunque localmente presenta profundidades de 13 y 18 m., en los sitios donde se localizan las dragas de Guillermo Serra y Colombia, aguas arriba y aguas abajo del puente, respectivamente. Ver Anexos 3 y 5.

Estos pozos o profundizaciones locales, producto de sobre-explotaciones del cauce por parte de actividades mecanizadas, generan un proceso de erosión remontante y propician la sedimentación en el sitio de la fosa, interrumpiendo el transporte de sedimentos hacia aguas abajo. A su vez aguas abajo el flujo carente de sedimento aumenta su capacidad erosiva y poder de incisión (Kondolf, 1997). Ver Figura 7.



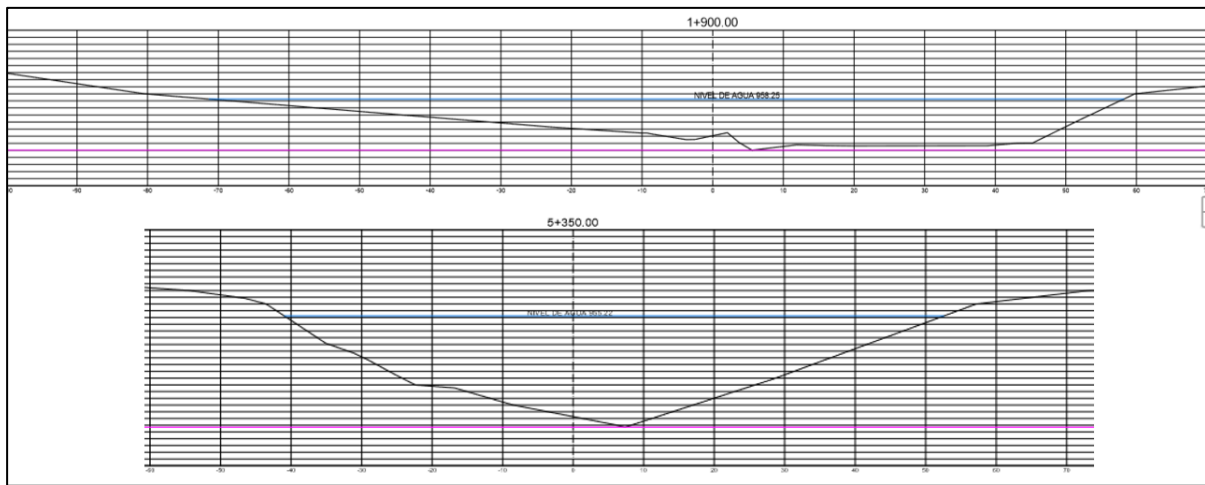
**Figura 7.** Proceso de profundización local, producto de una sobre-explotación. (Tomado de Kondolf, 1997).

**9.1.4.3. Sección transversal:** la forma de la sección transversal permite inferir el grado de incisión de un cauce en su valle, y a su vez provee información sobre la llanura de inundación, terrazas, presencia de control estructural o litológica y grado de confinamiento, (Rosgen, 1994). La relación ancho – profundidad (B/D) puede indicar un cauce estrecho y profundo en contraposición a uno amplio y somero.

Aguas arriba del puente La Bolsa, la sección transversal es amplia y somera, mientras que aguas abajo, el cauce es más angosto y profundo, con una relación B/D menor que la de



aguas arriba del puente, donde la explotación de material de arrastre se ha realizado exclusivamente de forma manual. Ver Figura 8 y Anexos 3 y 5.



**Figura 8.** Secciones transversales representativas, aguas arriba y aguas abajo del Puente La Bolsa.

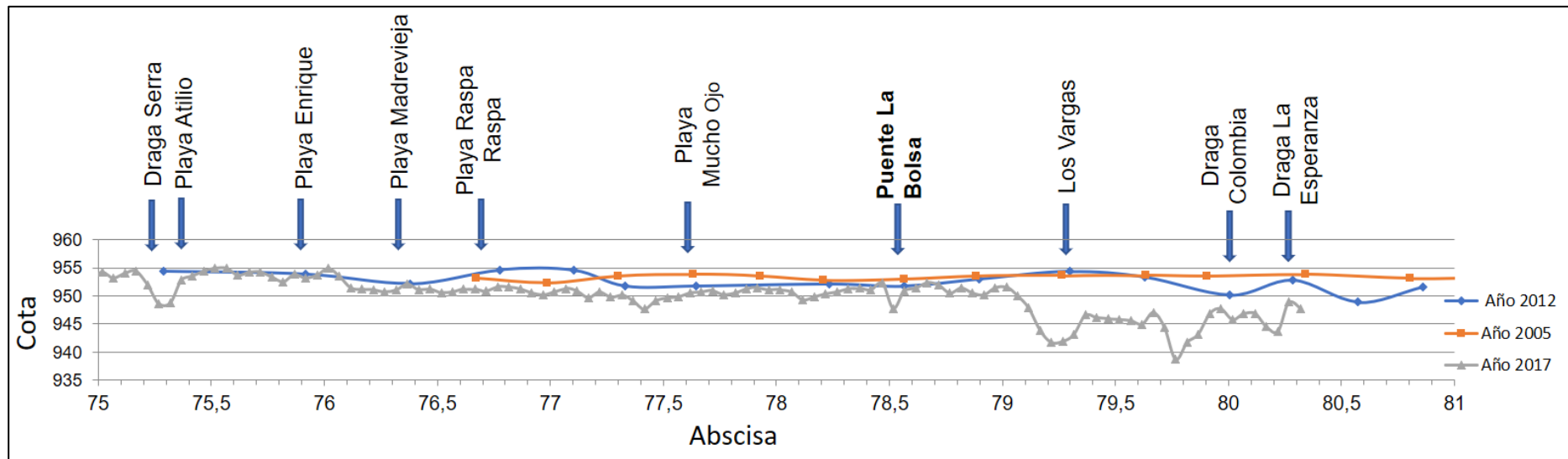
**9.1.4.4. Perfil longitudinal:** los análisis realizados a lo largo de del thalweg permiten evaluar de manera general y cualitativa las tendencias del cauce, en términos de agradación o degradación del lecho (CVC - Univalle, 2000). El perfil longitudinal a lo largo del thalweg muestra la variación de la pendiente media por tramos (CVC – Univalle, 2007b). A su vez representa un balance entre las características de la corriente (capacidad de transporte) y las características del material de suministro (tamaño, calidad y cantidad); es decir, es decir representa un balance entre la capacidad y el suministro (Posada, 1994). Para un tramo específico de río, y teniendo en cuenta el objeto del presente estudio, estas variaciones deben ser analizadas con sumo cuidado, teniendo en cuenta que por naturaleza el perfil longitudinal se profundiza en la parte exterior de las curvas y se levanta en los sitios de cruce del cauce (tramo recto de un cauce entre curva y curva). La pendiente del cauce a partir del perfil longitudinal, en el tramo evaluado muestra una tendencia a la profundización a través de los años, especialmente con posterioridad al año 2005, tal como se muestra en la Figura 9.

Los sitios donde se aprecian posos o profundizaciones del lecho coinciden con zonas de explotación de materiales de arrastre, conforme se puede corroborar con inventarios de

extracciones de materiales de arrastre realizados en diferentes épocas (CVC, 1985, 2001, 2002 y 2008a).

**9.1.4.5. Caudal:** El caudal a banca llena, correspondiente al que puede circular por el cauce justo por debajo del nivel de desbordamiento, es también conocido como caudal formativo, debido a que se considera como el principal factor de cambios en la morfología del cauce (CVC – Univalle, 2007b). El caudal a banca llena medido para la estación La Bolsa es de 737,2 m<sup>3</sup>/s, mientras que el calculado es de 665,93 m<sup>3</sup>/s (CVC - Univalle, 2000). Con posterioridad a la construcción de Salvajina, los caudales máximos históricos han disminuido gracias al efecto regulador del embalse, lo cual ha conllevado, a su vez, a una disminución en la velocidad del flujo, el área y la profundidad hidráulica (CVC-Univalle, 2000).

Sin embargo, de acuerdo con los análisis y evaluaciones realizadas en el proyecto de modelación del río Cauca en el año 2000, los efectos hidráulicos y morfológicos de Salvajina sobre el cauce del río Cauca, alcanzaron su mayor importancia con anterioridad al año 1995, teniendo en cuenta que para el período 1995-1999, ya no se encontraron cambios relevantes en la magnitud de los parámetros velocidad, área y profundidad hidráulica. A su vez el tramo La Balsa – Tablanca, es el que se vio más influenciado por el efecto regulador de Salvajina, con una disminución del 37% en el caudal máximo promedio multianual del período post-Salvajina (Soto, 2015).



**Figura 9.** Perfil longitudinal multitemporal del thalweg del río Cauca, a lo largo del tramo de estudio.

**9.1.4.6. Pendiente:** La morfología de un cauce puede predecirse en un alto grado, a partir de la pendiente del lecho (Rosgen, 1994), siendo este uno de los parámetros más dominantes y por consiguiente más importante al momento de determinar la estabilidad de un cauce, pero también en uno de los más difíciles de calcular y a partir de los cuales se puede incurrir fácilmente en un error, más aún cuando se analiza un tramo relativamente corto, como es el objeto del presente estudio. De acuerdo con las evaluaciones realizadas en el proyecto de modelación del río Cauca, el sector de estudio se encuentra en el Tramo 2 (La Bolsa – Juanchito) con una pendiente de 0,0002 (CVC – Univalle, 2000). Otros estudios han calculado pendientes de 0,00028 para este tramo, encontrando una gran dispersión en los valores, muy posiblemente relacionados con una fuerte explotación de materiales de arrastre que afectan notoriamente las cotas de fondo, especialmente durante las temporadas más secas (CVC – Univalle – Asocars, 2014).

A partir del levantamiento topográfico realizado a lo largo de 5950 m. de cauce, se encontraron pendientes de 0,00037 para el tramo de aguas arriba del puente, donde realizan explotación los areneros artesanalmente y de 0,0017 para el sector aguas abajo, donde se localizan las explotaciones mecanizadas. Si se evalúa todo el tramo en general la pendiente es de 0,00078.

**9.1.4.7. Rugosidad:** representa la resistencia que ofrece el lecho y los taludes del cauce sobre el flujo. Para el caso del río Cauca, hay una tendencia a la disminución de la resistencia del flujo hacia aguas abajo, asociado fundamentalmente al tamaño de las partículas que conforman el cauce, las cuales tienden a disminuir en esa dirección. Existen, de todas formas, otros factores que también afectan la rugosidad, tales como, la profundidad y el caudal del flujo, las formas de fondo (rizos y dunas), presencia de material vegetal en las orillas u otros obstáculos que actúan como disipadores de la energía (CVC – Univalle, 2007b). La presencia de controles litológicos también se suma a los factores que afectan este parámetro, pero para la zona de estudio no se tienen evidencias de la existencia de ellos. Para el período Post-Salvajina, el sector del Paso de La Bolsa ha arrojado un valor de rugosidad de Chezy de 41.33  $m^{1/2}/s$  (CVC – Univalle, 2000), que es un dato relativamente bajo. Para el coeficiente de

rugosidad de Manning, se considera que este sector tendría un valor aproximado de 0.035, teniendo en cuenta que corresponde más a un cauce de lecho de arenas.

#### **9.1.5. Aspectos morfológicos locales**

A pesar de que el sector de estudio se localiza en el tramo que ha sido reconocido como el de mayor sinuosidad y movilidad lateral del cauce, observándose una gran inestabilidad de las orillas y numerosas madrevejas hacia ambos márgenes del cauce (Guzmán, 2006), presenta características locales muy especiales, ver Anexo 4:

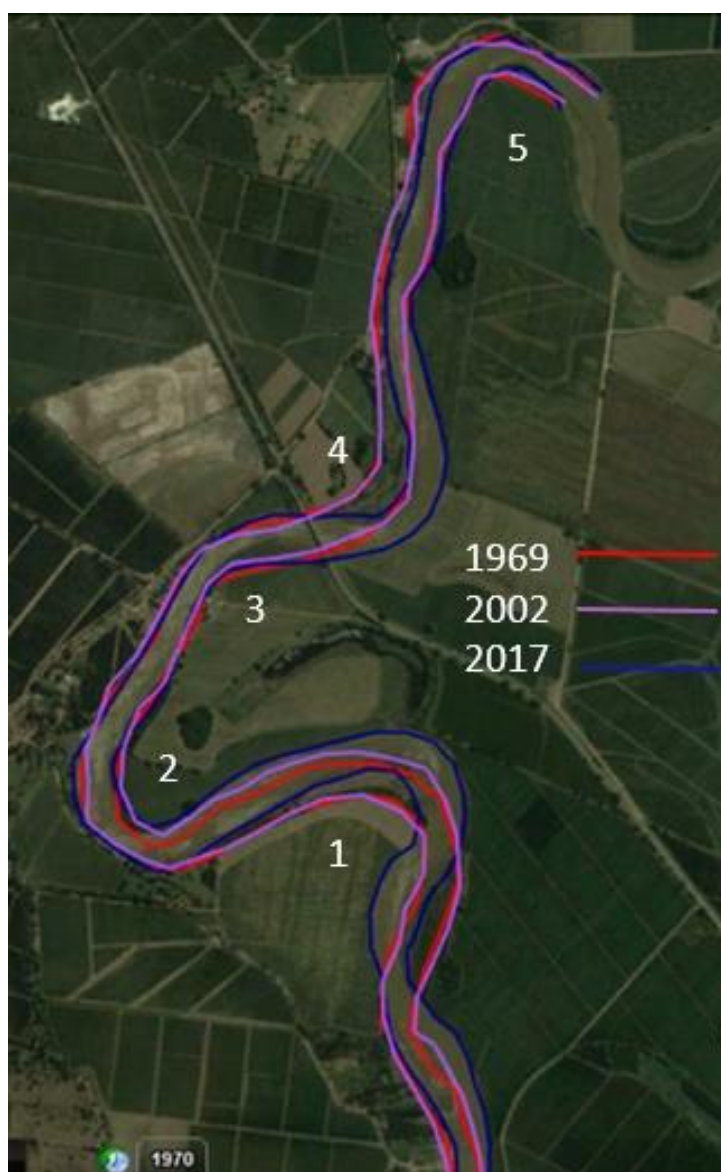
**9.1.5.1. Sinuosidad:** Definida como la relación entre la longitud del cauce ( $L_c$ ) y la longitud del valle ( $L_v$ ), la primera medida a lo largo de la línea thalweg, y la segunda, medida a lo largo del valle. El río Cauca para el tramo de estudio es un cauce eminentemente aluvial, es decir que su lecho, taludes y orillas se encuentran conformados exclusivamente por materiales aluviales transportados por el mismo río, lo cual le permite labrar su forma y desarrollar la longitud que requiere de manera libre, obedeciendo sólo a sus propias necesidades morfológicas.

A partir de los levantamientos batimétricos multitemporales del río Cauca, se han podido distinguir tramos con características específicas. El sector de estudio se encuentra incluido dentro del tramo La Balsa – La Bolsa, considerado el de mayor sinuosidad (3,06) entre Salvajina y La Virginia (CVC – Univalle, 2000).

Específicamente para el tramo de estudio la sinuosidad ha venido sufriendo cambios, de acuerdo con lo analizado en registros históricos entre los años 1969 a 2015 (con base en las morfologías disponibles en Google Earth) y el año 2017 (con base en el levantamiento topobatimétrico realizado para el presente estudio).

A partir de estos análisis es posible evidenciar un aumento en la sinuosidad a través del tiempo, si se evalúa todo el tramo (de 5,8 Km), pasando de 1.6 en el año 1969 a 1.9 en el año 2017. Ahora bien, si se analizan por separado los dos tramos, se resalta un importante aumento en la sinuosidad entre este mismo lapso de tiempo, pasando de 1.8 a 2.3. Por el

contrario, el tramo de aguas abajo ha sufrido una ligera tendencia a la disminución, pasando de 1.2 a 1.1. Ver Figura 10 y Tabla 2.



**Figura 10:** Morfología histórica comparativa entre los años 1969, 2002 y 2017. Se aprecian las curvas en formación 1, 2, 3, 4 y 5.

AÑO	Aguas arriba		Sinuosidad	Aguas Abajo		Sinuosidad	Tramo total		Sinuosidad
	Lc	Lv		Lc	Lv		Lc	Lv	
1969	3259	1813	1,8	1783	1517	1,2	5042	3152	1,6
1998	3150	1813	1,7	1750	1517	1,2	4900	3152	1,6
2002	3293	1813	1,8	1840	1517	1,2	5133	3152	1,6
2015	3466	1813	1,9	1967	1517	1,3	5433	3152	1,7
2017	4174	1813	2,3	1710	1517	1,1	5884	3152	1,9

**Tabla 2.** Sinuosidades para el cauce del río Cauca, en la zona de estudio, entre los años 1969 y 2017.

#### 9.1.5.2. Movilidad horizontal:

La condición aluvial del cauce del río Cauca para la zona de estudio, dada por la ausencia de controles litológicos que impidan o limiten su movimiento lateral, es un factor característico de este tramo. Este desplazamiento del cauce, en términos de zonas erosionadas hacia las curvas externas, y zonas abandonadas y secas, hacia las curvas internas, puede darse en longitud de avance o retroceso de las orillas y puede indicar el nivel de equilibrio del sistema aluvial. La evolución de los meandros, en ausencia de controles geológicos (litológicos o estructurales), finaliza cuando la dinámica del río “corta” por la parte más angosta el meandro, en su intento por aumentar su pendiente y capacidad de transporte, generando erosión remontante y aumento de la velocidad de la corriente (CVC – Univalle, 2007b).

La zona de estudio se encuentra inmersa dentro del tramo que ha sido catalogado en los estudios de modelación del río Cauca (CVC - Univalle, 2000 y 2007b), como el más meándrico y con las tasas de movilidad más altas (K77+000 a K88+000), entre los años 1957 y 1977, evidenciándose una mayor tasa de erosión que de abandono o avance de playa. Ver Tabla 3.

Margen	Area (1) Erodada (Ha)	Area (2) abandonada (Ha)	Area total	Diferencia (1-2)	Indice de movilidad
Izquierda	39.9	25.8	65.7	14	11.8
Derecha	33.0	30.8	63.8	3	
Total	72.9	56.6	129.5	-	

**Tabla 3.** Areas erosionadas y abandonadas para el tramo K77+000 y K88+000, entre los años 1957 y 1977. (CVC – Univalle, 2007b).

Los mayores movimientos horizontales se presentaron con anterioridad al año 1957, cuando el cauce principal se desplazó hacia el occidente, dejando hacia el lado oriental o margen derecha varios cortes de meandros o cauces abandonados, los cuales son conocidos como Madre Vieja El Mango, con unos 2300 m. de longitud, y Madre Vieja El Chuchal de aproximadamente 1200 m. El cinturón de meandros, dentro del cual el cauce desarrolla su sinuosidad, alcanza entre 1.5 y 2.0 Km de ancho y sobresale topográficamente por encima de la planicie de inundación del río, debido a que los albardones o diques naturales alcanzan

alturas superiores a las de la planicie, propiciando la formación de corrientes tipo Yazoo, que corren paralelas al río donde desembocarán, intentando buscar una cota más baja que los diques naturales donde entregar, tal como sucede con el río Guachinte antes de desembocar al río Claro, y de este a su vez antes de desembocar al río Cauca (Guzmán, 2006).

A partir de registros fotográficos disponibles en el Google Earth, entre los años 2002 y 2017, es posible distinguir retrocesos y avances de orillas para las cinco (5) curvas encontradas en el tramo objeto de estudio, ver Figura 10.

La curva 1, ubicada 2 km. aguas arriba del puente La Bolsa, retrocedió 88 m. hacia su margen derecha, pero también creció casi en la misma proporción hacia su parte interna o margen izquierda. Por el contrario, la curva 2, ubicada 1 km aguas arriba del puente, apenas ha retrocedido unos 19 m. sobre su orilla izquierda, y su curva interna avanzó apenas 16 m. Ver Figura 10 y Tabla 4.

CURVA	EROSION (metros)		AVANCE (metros)		Total erosión	Total avance
	Margen derecha	Margen izquierda	Margen derecha	Margen izquierda		
1	88			97	286	358
2		19	16			
3		40	58			
4	89			124		
5		50	19	44*		

\*Esta curva externa sufrió avance en vez de retroceso.

**Tabla 4.** Datos de erosión y avance de orilla para el tramo de estudio, entre los años 2002 y 2016.

En cuanto a la curva 3, ubicada inmediatamente aguas arriba del puente, se puede evidenciar que retrocedió 40 m. en la margen izquierda, mientras que su avance sobre la margen derecha fue de 58 m.

La curva 4 que se encuentra aguas abajo del puente, se erosionó 89 m. en su orilla derecha y avanzó 124 m. en su lado izquierdo.

Por último, la curva 5, localizada 1.5 kilómetros aguas abajo, ha sufrido entre los años 2002 y 2017, cambios inesperados, ya que su orilla derecha que corresponde a la curva interior,



avanzó apenas 19 m., mientras que la margen izquierda que por naturaleza debería sufrir retroceso o erosión, avanzó unos 44 m. en su primera parte, y retrocedió 28 m. en su parte final de aguas abajo, Ver Figura 10. Esta orilla a pesar del avance que ha tenido en estos años, simultáneamente está siendo afectado por procesos de erosión lateral local, a manera de socavones, tal como se puede apreciar en la Figura 11, muy posiblemente asociados con el arrojo indiscriminado de escombros de construcción con los cuales se pretende frenar la erosión.



**Figura 11.** Fotografías aéreas de los años 2012 (izquierda) y 2015 (derecha) de la curva 5, que muestran el avance de la orilla izquierda, en su primera parte y su retroceso al finalizar. Fuente Google Earth.


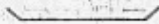

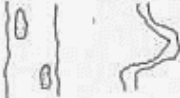






Actualmente existe una fuerte curva (de 180°), 1200 m. aguas arriba del tramo estudiado, que alcanza unos 3 km de longitud y que en el año 2002 alcanzó su mayor estrangulamiento (130 m.). Este meandro parece haberse recuperado y actualmente el ancho es de aproximadamente 200 m, en su parte más estrecha; sin embargo la tendencia de esta curva es a su rompimiento por la parte del cuello en unos 3 a 6 años, dadas las altas tasas de movimiento de este sector (CVC – Univalle - Asocars, 2014).

#### **9.1.6. Clasificación y grado de estabilidad del cauce:**

Para definir la evolución y grado de estabilidad de un cauce, se debe considerar el río en sus tres dimensiones: el perfil longitudinal, la sección transversal y el alineamiento del cauce (CVC -Univalle, 2000), es decir, la pendiente, los parámetros morfométricos y la forma en planta del cauce. En este sentido, Schumm en 1977, estableció clasificaciones que lograron por primera vez una buena aproximación a la cuantificación del grado de sinuosidad y trenzamiento, así

como a un mejor entendimiento de los cambios morfológicos que pueden presentarse producto de las intervenciones humanas.

A partir de las Tablas 5 y 6 (Schumm, 1977) se clasifican los cauces aluviales, es decir, aquellos que son libres de ajustar sus dimensiones, forma, modelo y gradiente, en respuesta al cambio, fluyendo en un cauce con el fondo y orillas conformadas exclusivamente por los materiales que transporte el río. En la Tabla No. 5 se consideran el caudal y el tipo de carga, como variables independientes, las cuales dependen exclusivamente de la morfología aluvial. El caudal determina en gran parte, el tamaño de los cauces naturales y la amplitud y longitud de onda de los meandros, es decir, la relación ancho/profundidad (F) y la relación longitud del cauce/longitud del valle (P), por lo cual no se utiliza directamente el caudal como base para la clasificación. La otra variable independiente es la carga de sedimento, la cual se clasifica bien sea como carga de fondo (la cual se asimila a la carga de material de fondo) o como carga suspendida (asimilada a carga de lavado).

MORFOLOGIA	TIPO DE CAUCE		CARGA DE FONDO	CARGA MIXTA	CARGA EN SUSPENSION
	CANAL SIMPLE	FORMA DEL CAUCE	 Trenzado 60	 Meándrica 25	 Recto 8
		Relación Ancho/Profundo			
		PATRON DEL CANAL	 Sinuosidad 1.0 1.1	 1.4 1.7	 2.5
	CANAL MULTIPLE	PATRONES	 Abanico Aluvial	 Llanura de Inundación	 Planicie Aluvial
		Asociaciones			 Delta

**Tabla 5.** Clasificación de cauces según Schumm, 1977.

MODO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y TIPO DE CAUCE	SEDIMENTO DEL CAUCA (M%)	CARGA DE FONDO (% DE CARGA TOTAL)	ESTABILIDAD DEL CAUCE		
			ESTABLE (EN EQUILIBRIO)	COLMATACION (EXCESO DE CARGA)	SOCAVACIÓN (DEFICIENCIA DE CARGA)
Carga suspendida	> 20	< 3	Cauce de carga suspendida, estable. Relación $F < 10$ . Sinuosidad generalmente $P > 2.0$ . Gradiente	Cauce de carga suspendida, en colmatación. La colmatación sobre las orillas provoca estrechamiento del cauce. La	Cauce de carga suspendida, en socavación. Predomina la socavación del fondo; la ampliación inicial

			relativamente suave.	colmatación inicial sobre el fondo es menor.	del cauce es menor.
Carga mixta	5 - 20	3-11	Cauce de carga mixta, estable $10 < F < 40$ . Sinuosidad generalmente $P < 2.0$ . Gradiente moderado	Cauce de carga mixta en colmatación. La colmatación inicial es mayor sobre las orillas, seguida por colmatación del fondo.	Cauce de carga mixta, en socavación. Erosión inicial del fondo, seguida por ampliación del cauce.
Carga de fondo	$< 5$	$> 11$	Cauce de carga de fondo estable. Relación $F > 40$ . Sinuosidad generalmente $P < 1.3$ .	Cauce de carga de fondo, en colmatación. Colmatación del fondo y formación de islas.	Cauce de carga de fondo, en socavación. Pequeña erosión del fondo; predomina la ampliación del cauce.

**Tabla 6.** Clasificación de cauces aluviales con base en su estabilidad. A partir de Schumm, 1977.

En los ríos de amplias planicies, como es la del Cauca, la carga de material de fondo está compuesta, por lo general, por arenas y gravas, mientras que la carga de lavado está conformada por limos y arcillas. Aunque no se puede seleccionar un solo tamaño de grano, que defina un límite entre la carga suspendida y la carga de fondo, se ha supuesto que en términos generales, limos y arcillas son transportados como material en suspensión, y gravas y arenas, son transportados sobre, o cerca del fondo o lecho del cauce (Schumm, 1978)

En la tabla 5, los cauces han sido clasificados en primer lugar, de acuerdo al tipo de sedimento, como cauces de carga de fondo, de carga mixta o de carga en suspensión, y asociados a cada uno de estos, los cauces trenzados, meándricos y rectos, respectivamente. A su vez, esta tabla separa dos sistemas de ríos: los de cauce único y los de cauce múltiple.

Dentro de la categoría de cauce único, los de tipo recto, predominantemente de carga de fondo, mientras que los meándricos son de carga suspendida o mixta, aunque pueden presentarse algunas excepciones.

En la tabla 6, Schumm (1977) realiza una segunda clasificación para determinar el proceso predominante en que se encuentra el cauce, en socavación o en colmatación, bien sea por una deficiencia de carga que genera lo primero, o un exceso de esta, que conlleva a lo segundo, y entre estos dos, un cauce estable. El cauce estable es aquel que no muestra

cambio progresivo en la pendiente, dimensiones y forma, a pesar de que durante las crecientes puedan ocurrir cambios temporales.

El cauce en socavación es el que está siendo erosionado progresivamente y/o ampliado por erosión de orilla. Por el contrario el cauce en colmatación es el que está sufriendo de sedimentación en exceso, bien sea en su fondo o en sus orillas. En esta tabla 6 se muestran nueve (9) subclases de cauces, basada fundamentalmente en su estabilidad y en su modo de transporte. A pesar de que las variaciones en las proporciones de carga de fondo o suspendida son transicionales, es posible establecer que los cauces de carga en suspensión, transportan entre 0 y 3% de carga de fondo, mientras que el cauce de carga de fondo transporta más del 11% de la carga de fondo, y el de carga mixta, transporta entre 3 y 11% de carga de fondo. Los límites entre estos grupos se basan en la relación entre el porcentaje de limo-arcilla en el perímetro del cauce (M) y el porcentaje de la carga de fondo (Qb):

$$M = 55/Qb \text{ (Schumm, 1968)}$$

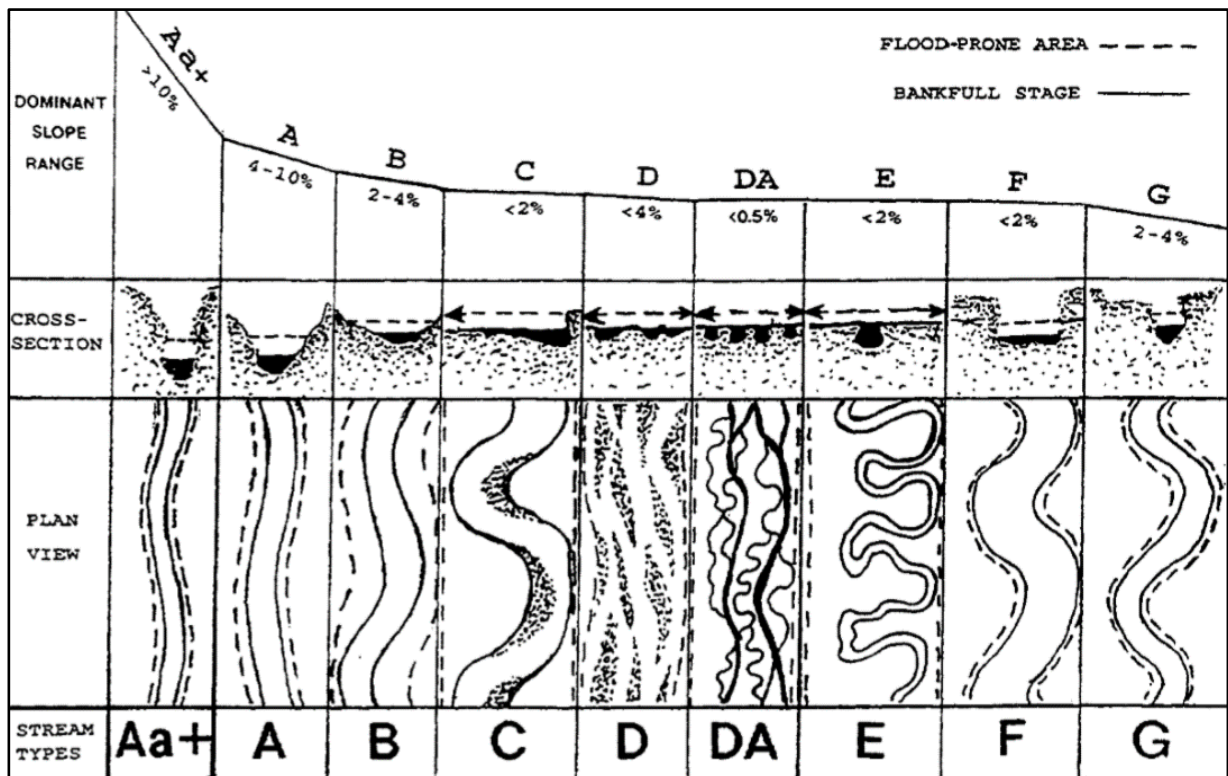
Donde Qb está dada en m<sup>3</sup>/seg

A partir de esta clasificación de Schumm, se realizó un análisis para todo el tramo de 5,9 km. de longitud, pero también se evaluó su comportamiento por tramos: uno aguas abajo del puente, donde predominan las explotaciones mecanizadas, y otro, para el sector de aguas arriba, donde los areneros del Paso de La Bolsa realizan la explotación de manera artesanal.

El análisis arrojó para el tramo de aguas arriba del puente: un cauce de carga mixta, con una pendiente del valle media, potencia de corriente media y carga de sedimento media. Se encuentra en equilibrio, ya que la relación ancho/profundidad (F) es mayor a 10 y menor de 40. La sinuosidad es de 1,7 y la pendiente del cauce moderada.

Para el tramo de aguas abajo, por el contrario, el cauce tiende más a uno de carga en suspensión, con pendiente del valle baja, potencia de corriente baja y carga de sedimento baja. La estabilidad lateral es media a alta, y predomina la socavación del fondo. La sinuosidad es de 1,1, lo que lo hace casi un cauce rectilíneo, con una pendiente modelada a alta.

De otra parte, Rogen en 1994, realizó un esfuerzo por categorizar los sistemas aluviales para lograr los siguientes objetivos: 1) Predecir el comportamiento de un río a partir de su apariencia. 2) Desarrollar relaciones hidráulicas y de sedimentos específicas para un determinado tipo y estado morfológico de cauce. 3) Proporcionar un mecanismo para extrapolar los datos específicos del sitio, recopilados en un flujo determinado y alcanzar los caracteres similares. 4) Proporcionar un marco de referencia que sea aplicable y entendible para quienes trabajan con sistemas fluviales en una variedad de disciplinas profesionales. De esta manera definió nueve (9) tipos de cauces, a partir de su pendiente, sección transversal y forma en planta. Ver Figura 12.



**Figura 12.** Clasificación de cauces, en planta y sección transversal, según Rosgen, 1994.

A partir de esta clasificación es posible catalogar el cauce del río Cauca para el tramo de estudio, dentro del tipo "C", teniendo en cuenta que posee una pendiente baja, menor al 2%, su cauce es relativamente ancho y poco profundo, con desarrollo de albardones semilunares y barras de punta, una moderada sinuosidad y una llanura de inundación extensa y bien

definida. En contraste, aguas abajo del puente, se aprecia una tendencia a migrar hacia el tipo “F”, correspondiente a un cauce excavado, donde las bancas son más verticales, la relación ancho – profundidad disminuye radicalmente y la pendiente aumenta.

A su vez Rosgen (1994) clasifica estos cauces de acuerdo con su grado de atrincheramiento, es decir, la interrelación del río con su valle de inundación y su grado de disección, lo cual permite inferir si el nivel adyacente al cauce es una llanura de inundación frecuente o una terraza por fuera del área propensa a sufrir las inundaciones.

El atrincheramiento se define como como la limitación vertical del río o el grado (dificultad o facilidad) con que se realiza la incisión en el fondo del valle y se calcula a partir de la relación entre el ancho del área propensa a las inundaciones y el ancho de la superficie total del canal.

En esta clasificación, el cauce del río Cauca para el tramo aguas arriba del puente se puede catalogar del tipo “C”, es decir, ligeramente atrincherado y con una llanura de inundación bien desarrollada, mientras que el tramo aguas abajo se clasificaría como un tipo “F” o “G”, para un cauce atrincherado dentro del valle, ver Figura 13.



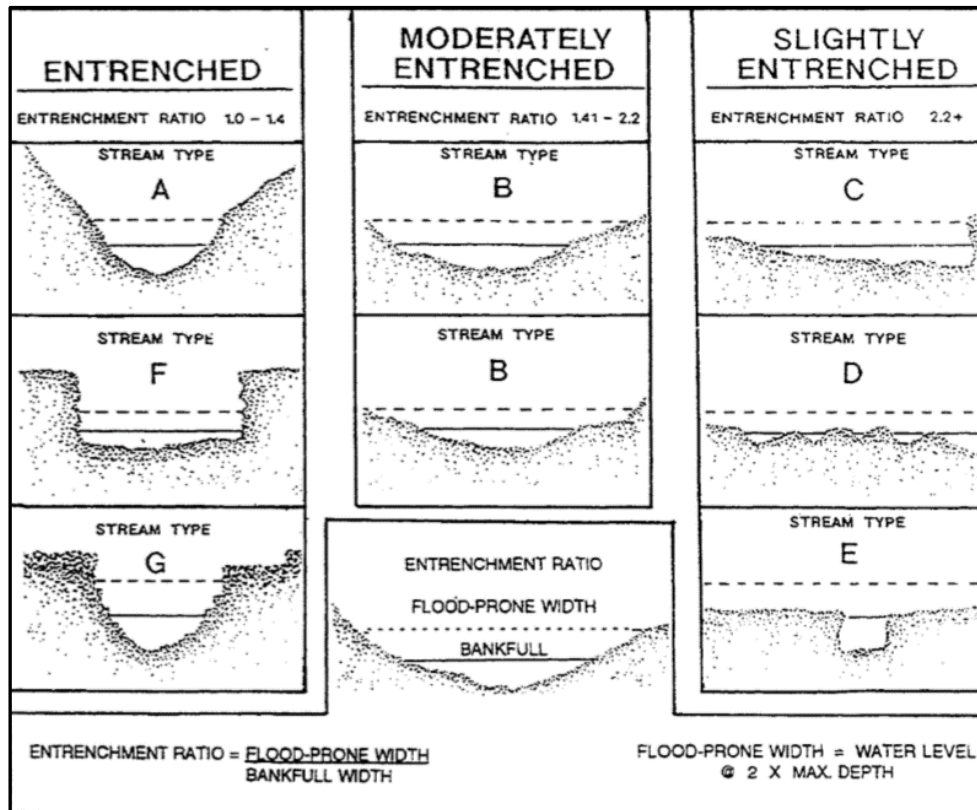


Figura 13. Clasificación de Rosgen (1994), según el grado de atrincheramiento.

### 9.1.7. Transporte de sedimentos

Carga de sedimentos: El material transportado por una corriente se encuentra determinado por dos variables: las fuentes de suministro de material que aporta la cuenca y la capacidad del flujo para transportar este material (Posada, 1994).

Las características morfológicas e hidráulicas de un cauce están íntimamente ligadas con la carga de sedimentos; sin embargo, la composición litológica de las rocas que conforman las cuencas de aporte, determinan los tipos de meteorización más predominante (química o física) y, a su vez, los materiales que potencialmente se constituyen en fuente de suministro para los depósitos aptos desde el punto de vista minero.

No todas las cuencas se constituyen en fuente de suministro de sedimentos, en términos de calidad y cantidad, existen terrenos conformados por materiales más o menos competentes, que soportan de diferente manera la acción erosiva del flujo y de rugosidad del cauce.

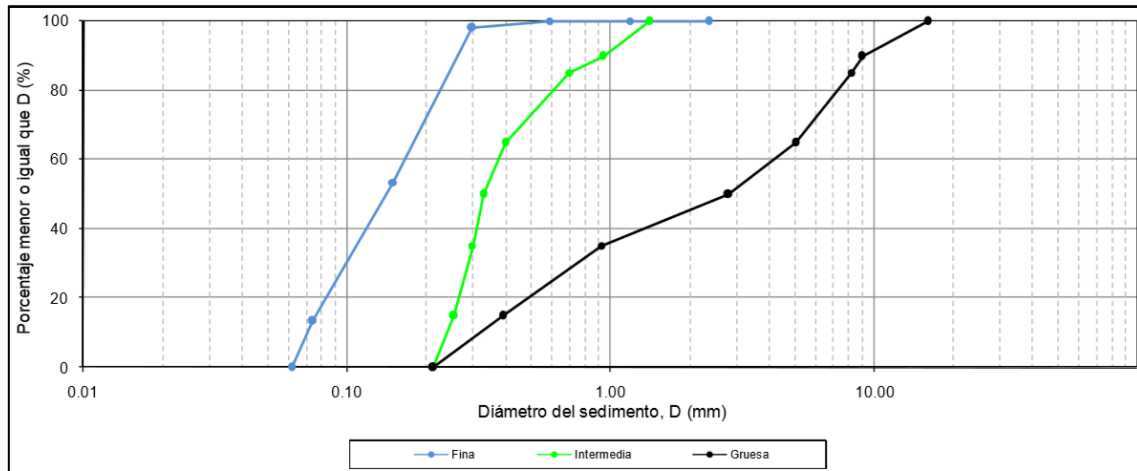
La composición granulométrica del río Cauca, según las curvas granulométricas fina, intermedia y gruesa, antes de la existencia del embalse de Salvajina, correspondía en mayor porcentaje a arenas medias (46%), seguido por arenas gruesas y muy gruesas (34%), arenas finas y muy finas (15%) y gravas (5%), donde el mayor porcentaje de gravas se localizaba en la estación hidrométrica La Virginia; mientras que luego de la entrada en operación del embalse, el lecho está conformado principalmente por gravas (28%), arenas medias (27%), arenas gruesas (22%), arenas muy gruesas (11%), arenas finas y muy finas (12%), donde el mayor porcentaje de gravas se presenta en la estación hidrométrica La Balsa, lo cual resulta lógico por la modificación que producen los embalses en los cauces inmediatamente aguas abajo para el período de tiempo anterior a la existencia de la presa de Salvajina, seleccionadas como representativas de la variabilidad sedimentológica del río (Soto, 2015). En la Tabla 7 se muestran los valores de diámetro ( $d_{50}$ ), antes y después de Salvajina para el tramo Quinamayó – Desbaratado.

	Diámetro (mm) – $d_{50}$	
	Pre-Salvajina	Post-Salvajina
<b>Fina</b>	0.15	0.09
<b>Intermedia</b>	0.33	1.50
<b>Gruesa</b>	2.80	12.50

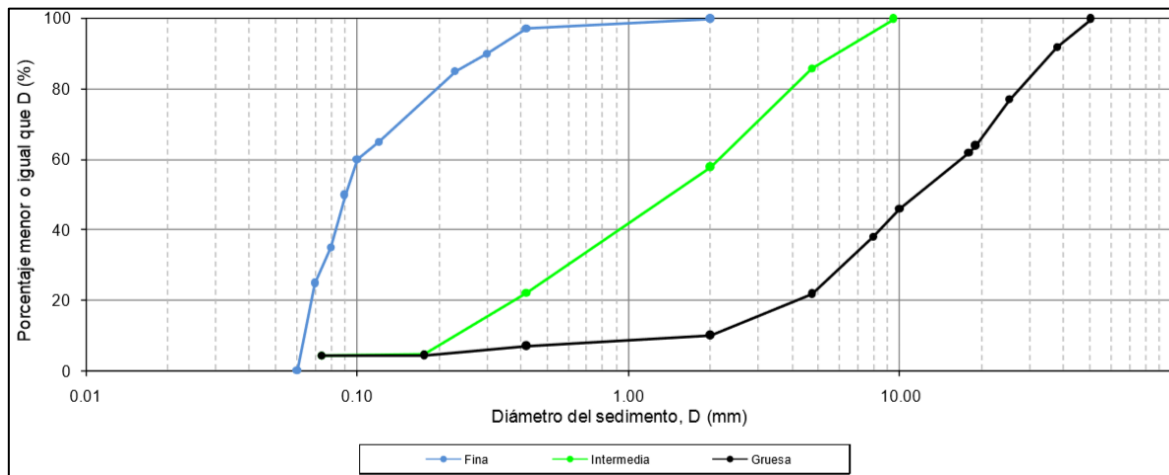
**Tabla 7.** Valores de diámetro ( $d_{50}$ ) antes y después de Salvajina para el tramo Quinamayó – Desbaratado (Soto, 2015).

De acuerdo con las curvas granulométricas, es posible deducir que el material de fondo, para el período pre-Salvajina, presenta una pobre gradación, debido a la uniformidad de los sedimentos, pero para el período post-Salvajina, se presenta una gradación pobre, debido a la relativa uniformidad en el tamaño de las partículas, mientras que posterior a la construcción de Salvajina se presenta un material de fondo con granulometrías más extendidas y diámetros superiores, con una disminución promedio del 66% en la fracción de arena media y un aumento en la gruesa, del orden del 17%, lo cual resulta razonable con la construcción del embalse (Soto, 2015). Ver Figuras 14 y 15.





**Figura 14.** Curva granulométrica del lecho del río Cauca, para el tramo Quinamayó – Desbaratado, antes de construido Salvajina.



**Figura 15.** Curva granulométrica del lecho del río Cauca, para el tramo Quinamayó – Desbaratado, después de construido Salvajina.

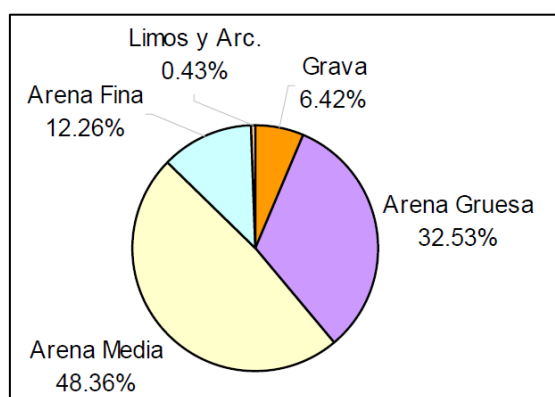
Del total de la carga o transporte de sedimentos, la que interesa en el presente estudio es la que conforma el material de fondo o el lecho del cauce, fundamentalmente arenas y gravas que son transportadas por tracción y localmente depositadas por el flujo, cuando este pierde su capacidad de transporte.

En el año 1981, dentro del estudio morfológico del río Cauca (CVC - Univalle, 1986), se realizaron mediciones de la carga de fondo, en San Francisco, Tablanca, Navarro y Paso de La Torre, utilizando el equipo muestreador BTMA (Bed Transport Meter Arhem).

Posteriormente, como parte del Proyecto de Modelación del Río Cauca - PMC, entre mayo y junio del 2003, se realizaron muestreos de material de fondo, a lo largo del río Cauca entre

Salvajina y La Virginia, espaciadas entre 5 y 10 km. Estos muestreos se realizaron con dos tipos de equipos: Draga tipo Pettersen para materiales tipo arcillas, limos y gravas finas y Tubo Cilíndrico de Boca Cónica para materiales tipo gravas medias y gruesas (CVC – Univalle, 2004a). Los muestreos se realizaron sobre tramos de cauce rectos, donde el material tiende a ser más homogéneo en la sección del cauce.

A partir de estos muestreos se pudo concluir que existe una estratificación del material de fondo del río Cauca, encontrando una capa superficial formada por material predominantemente gruesa que constituye la capa de armadura, por debajo de la cual se encuentra una capa subsuperficial conformada por sedimentos más finos, la cual a su vez es subyacida por una capa de fondo propiamente dicha, similar a la subsuperficial, pero con menor contenido de sedimentos finos (CVC – Univalle, 2004a). La granulometría del material que conforma el lecho, para el sector del Paso de La Bolsa, arrojó la siguiente distribución: 48,4% de arena media, 32,5% de arena gruesa, 12,3% de arena fina, 6,9% de gravas, y tan sólo 0,43% de limos y arcillas (Ver Figura 16), es decir que las arenas medias a gruesas corresponden aproximadamente al 80% de los sedimentos que conforman el lecho del río Cauca para este sector.



**Figura 16.** Composición porcentual de la granulometría promedio en el tramo La Ventura – Desembocadura río Palo. Tomado de PMC, Volumen II (CVC – Univalle, 2004a).

Posteriormente como parte de la Fase III del PMC (CVC – Univalle, 2007a), se realizó un nuevo muestreo de material de fondo, pero esta vez para los sectores de Hormiguero y

Juanchito. A partir de este último muestreo y del realizado en año 1981, se hicieron estimaciones de material de fondo, aplicando algunos predictores o formulaciones más comunes para ríos aluviales (Einstein, Meyer-Peter-Muller, Schoklitsch y Van Rijn) los cuales arrojaron resultados disímiles entre sí, tanto entre predictores, como con relación a las mediciones de campo, entre las cuales se encuentran diferencias de 0,79 Ton/día y 2.116,23 Ton/día, a partir de lo cual se concluye que ninguno de los predictores utilizados para calcular el transporte de fondo en Hormiguero y Juanchito, se considera aplicable para este fin (CVC – Univalle, 2007b).

En consideración a lo anterior, la Universidad del Valle estableció una ecuación simplificada para el río Cauca, en función de las características hidráulicas, geométricas y del sedimento, con base en los registros de campo disponibles y sustentados en la analogía de la balanza de Lane de 1955 (Vine, 1997; Simons y Senturk, 1992), para obtener la siguiente formulación:

$$S_b = m \times \frac{Q^n}{r^n B^{n-1} d_{50}}$$

Donde m y n se constituyen en un coeficiente y un exponente característicos del cauce, que se calculan aplicando modelos estadísticos de regresión (CVC – Univalle, 2007b).

$$m = 0,006$$

$$n = 5,5$$

**Q** = corresponde al caudal a banca llena = 737 m<sup>3</sup>/s

En cuanto al radio hidráulico y ancho del cauce, estos fueron calculados con las dimensiones promedias de cada sector.

Por último, el diámetro medio del material de lecho ( $D_{50}$ ), fue trabajado para dos casos, el medido en la parte media del cauce (0,48) y el de la margen izquierda (5,0), conforme los muestreos realizados dentro del PMC del año 2002. (CVC – Univalle, 2004a).

A partir de esta formulación y tomando como datos, los registrados para la estación La Bolsa, con base en el Proyecto de Modelación del Río Cauca (CVC – Univalle, 2000), se obtuvieron datos disímiles, para cada sector, conforme se muestra en la Tabla No. 7.

SECTOR	Caudal a banca llena Q (m <sup>3</sup> /seg)	Radio Hidráulico R	Ancho B (m)	Diámetro medio del material de lecho D <sub>50</sub>	Carga de material de lecho Sb (ton/día)
PUENTE LA BOLSA	737,2	1,91	110	0,48	1353
				5	129
AGUAS ARRIBA	737,2	1,69	157	0,48	536
				5	51
AGUAS ABAJO	737,2	3,55	102	0,48	63
				5	6

**Tabla 8.** Cálculo de material de lecho (Sb) para cada sector evaluado.

De acuerdo con los trabajos de campo realizados para el presente trabajo, a lo largo de 5,9 km de río Cauca, se pudo determinar que aguas arriba del puente La Bolsa, dentro del tramo explotado manualmente por los areneros del Paso de La Bolsa, existen sectores donde por condiciones morfológicas del cauce, se depositan sedimentos en forma de barras elongadas o de albardones semilunares, a saber:

Playa Mucho Ojo, localizada hacia la abscisa K2+950 a K3+000, con una longitud de 35 m. y 10 m. de ancho. Se forma principalmente por sedimentos finos, tipo arenas finas, en un espesor no mayor a los 2 m. Ver Foto 1 y Figura 17.



**Foto. 1.** Vista de la playa Mucho Ojo, ubicada hacia la margen derecha.





**Figura 17.** Playas de explotación manual. Imagen tomada del Google Earth.

*Playa Raspa Raspa:* Se encuentra entre las abscisas K2+700 a K2+850. Se conforma fundamentalmente por arenas finas en una delgada capa que se carga después de grandes crecientes. Ver Foto 2 y Figura 17.



**Foto 2.** Playa Raspa Raspa, ubicada hacia la margen izquierda del río Cauca y constituida principalmente por arenas finas.



**Playa Madre Vieja:** Entre las abscisas K1+850 y K2+200, Es la playa más grande, asociada con una curva interna en pleno desarrollo, que forma un albardón semilunar, constituido por todo tipo de granulometrías, pero muy especialmente gruesas (arenas gruesas, gravas y cantos). Ver Foto 3 y Figura 17.



**Foto 3.** Vista de la playa Madre Vieja, formada por gravas y arenas.

**Playa Enrique:** Definida entre las abscisas K1+550 y K1+600 y se forma por arenas gruesas y gravas finas). Ver Foto 4 y Figura 17.



**Foto 4.** Playa Enrique sobre la margen derecha del río Cauca.

Playa Atilio: entre las abscisas K1+000 y K1+250. Al igual que la anterior, se encuentra formada por arenas y gravas finas. Esta playa corresponde a una barra longitudinal que deja el flujo en un tramo relativamente recto del río. Cuando los niveles del río son más bajos, toda la barra queda descubierta y es aprovechada para la siembra de cultivos varios. Ver Foto 5 y Figura 17.



**Foto 5.** Vista de la playa Atilio.

## 9.2 COMPONENTE BIÓTICO

Caracterizar y evaluar el ecosistema río Cauca, significa examinarlo desde un enfoque holístico o integral, por lo cual el aspecto biótico juega también un papel preponderante que debe ser tenido en cuenta en el presente trabajo de investigación, ya que las condiciones físicas (morfológicas e hidráulicas) se constituyen en factores determinantes que marcarán la presencia de ciertas comunidades de especies de flora y fauna en el cauce y zonas riparias de éste.

La interacción de factores físicos y biológicos se constituye en determinantes en tiempo y espacio que definen la naturaleza dinámica de los ecosistemas de agua dulce. La entrada de sedimentos y de materia orgánica proporciona la base para la conformación del hábitat que sustenta la flora y fauna acuática (refugios, sustratos, nutrientes y sitios de desove), (Barón et al., 2003).

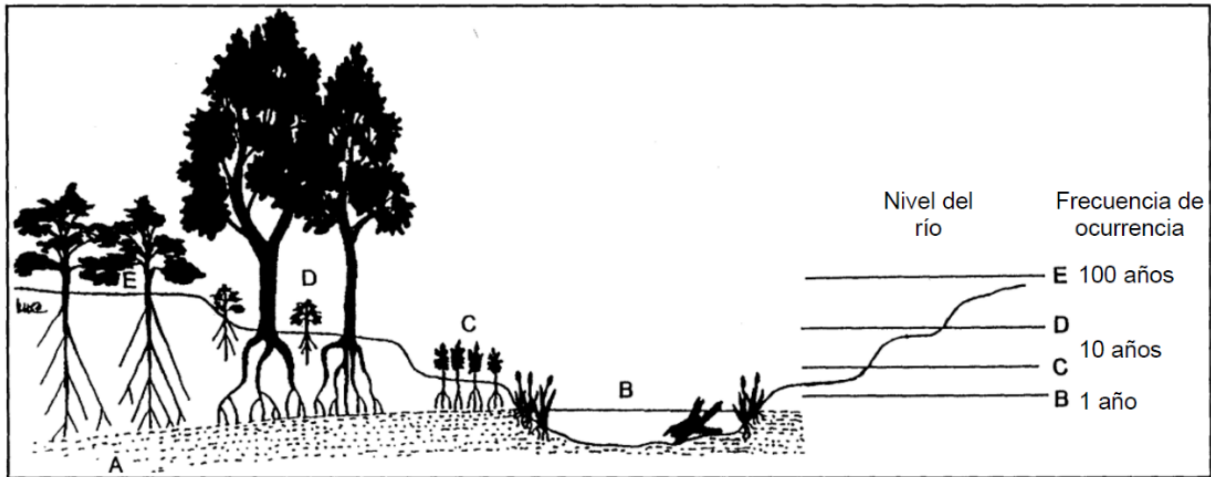
El cauce y riberas del río Cauca se constituyen en hábitat de numerosas especies de plantas e insectos que mantienen y garantizan la base de las cadenas tróficas, a su vez se constituyen

en fuente de innumerables servicios ecosistémicos, asociados con funciones de regulación, hábitat, producción e información (De Groot, et al., 2002).

A su vez las actividades humanas, dentro de las cuales se encuentra la minería, afectan estos sistemas, por lo cual las especies biológicas que habitan en ellos se constituyen en bioindicadores de las condiciones de estabilidad del ecosistema acuático.

LeRoy Poff (1997), asocia los diferentes niveles de un río con el ecosistema ripario y de la llanura aluvial, ver Figura 18. El nivel freático sustenta la vegetación ribereña y la entrada de agua subterránea y la recarga con las inundaciones periódicas, perfilan el hábitat que la caracteriza por (A). Para mantener una diversidad de especies de plantas ribereñas y hábitats acuáticos se necesitan inundaciones de diferente nivel y duración. Las más pequeñas y frecuentes transportan sedimentos finos y mantienen una alta productividad bentónica, creando hábitats de desove para los peces (B). Las inundaciones de tamaño intermedio inundan las llanuras aluviales bajas y depositan sedimentos que permiten el establecimiento de especies pioneras (C). Estas inundaciones también importan material orgánico acumulado en el canal y ayudan a mantener la forma característica del canal de flujo activo. Las inundaciones más grandes que se repiten en el orden de décadas inundan las grandes terrazas de llanuras aluviales, donde se establecen las especies sucesivas posteriores (D). Por último, inundaciones eventuales de gran magnitud pueden desarraigar árboles ribereños maduros y depositarlos en el cauce, creando hábitats que a su vez son albergue de muchas especies acuáticas (E).





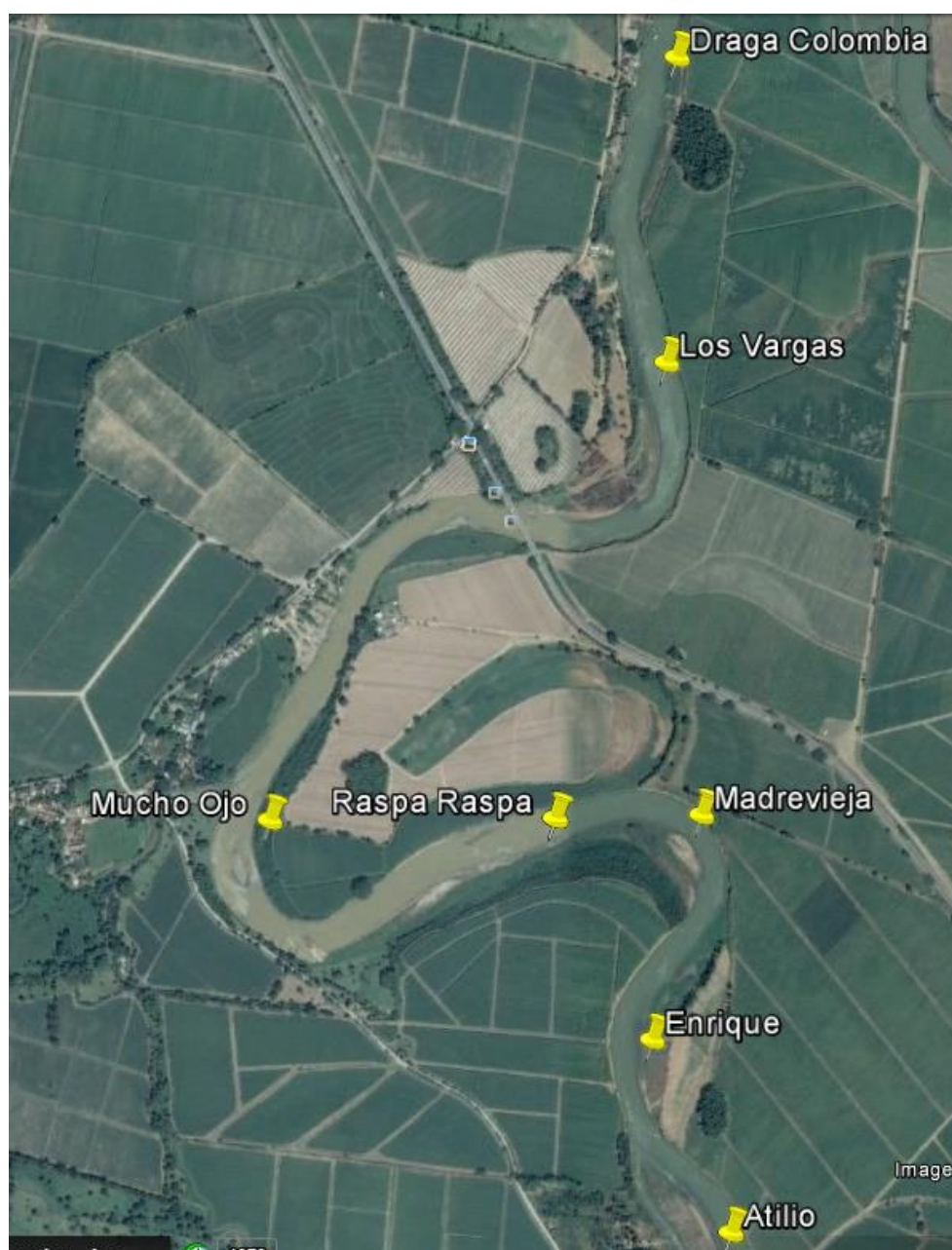
**Figura 18.** Relación de las rondas hídricas y el nivel freático. Tomado de (Poff, N., et al., 1997).

A continuación se presentan los resultados de la evaluación realizada a las comunidades de organismos acuáticos, los cuales se constituyen, como se dijo anteriormente, en indicadores y marcadores de las condiciones ambientales (PMC, Evaluación hidrobiológica, 2004b).

Este análisis realizado a los aspectos bióticos del río Cauca en el tramo de interés está orientado fundamentalmente hacia los macroinvertebrados, los cuales se constituyen en indicadores de salud del cauce: esto teniendo en cuenta que son las especies preferidas para evaluar la calidad del agua de un ecosistema acuático, debido a su condición predominantemente sedentaria y su vida relativamente larga (Guerrero, 1996).

Adicionalmente los macroinvertebrados son testigos de los cambios que ocurren en el sistema fluvial, ya que suelen permanecer en el fondo del cauce (Abarca, 2007).

Teniendo en cuenta la importancia de estas especies como indicadores ecológicos, el 01 de julio de 2017 se realizó un muestreo en cada uno de los siete sitios de extracción que se localizan dentro del área de estudio. Ver Figura No. 19 y Tabla No. 8.



**Figura 19.** Localización de sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos y físico-químicos. Imagen tomada del Google Earth.

SITIO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
Playa Muchos Ojo	1.064.263	845.560
Playa Raspa Raspa	1064.875	845.567
Playa Madrevieja	1.065.181	845.576
Playa Enrique	1.065.081	845.109
Playa Atilio	1.065.247	844.709
Malacate Los Vargas	1.065.103	846.515
Draga Colombia	1.065.122	847.148

**Tabla. 9.** Coordenadas de los sitios de muestreo de macroinvertebrados y físico-químicos.

Los muestreos se realizaron con la ayuda de una draga Ekman, la cual resulta más útil en sustratos o suelos arenosos. Estos fueron efectuados en cada uno de los sitios donde se adelanta explotación manual o mecanizada, es decir en las playas y barras de arenas y gravas, encontradas hacia las márgenes del río Cauca. Los sedimentos recogidos con la draga fueron tamizados y lavados con el objeto de separar los organismos del lodo, piedra, arena y restos vegetales. Ver Foto 6.



**Foto 6.** Muestreos realizados con draga Ekman.

Las muestras colectadas en cada uno de los sitios de explotación fueron almacenadas en una solución de alcohol al 70%, debidamente rotuladas, y posteriormente fueron llevadas a laboratorio para su respectivo análisis y clasificación.

De igual manera se midieron en cada uno de los sitios, parámetros físico-químicos tales como conductividad, turbidez y temperatura.

### **9.2.1 Análisis Biológicos y Físicoquímicos**

La composición de especies observada en los puntos de muestreo corresponde con la esperada para los ecosistemas andinos colombianos, con presencia de efemerópteros de los géneros *Tricorythodes*, *Americabaetis* y *Leptohyphes*; Tricópteros del género *Nectopsyche* y

coleópteros del género Elmidae (Roldán 2003). Para la playa Atilio no hubo ninguna representatividad. Ver Tabla 9.

Especie	Enrique	Madrevieja	Raspa raspa	Mucho ojo	Los Vargas	Draga Colombia	General
Tricorythodes sp.	1	2	0	0	1	1	5
Americabaetis sp.	2	0	5	11	1	12	31
Leptohyphes sp.	4	0	0	3	0	0	7
Nectopsyche sp.	0	0	0	1	0	0	1
Simulium sp.	0	0	0	3	0	0	3
Syrphidae	0	0	0	0	0	1	1
Elmidae sp.	0	2	0	0	0	0	2
Chironomidae sp.	0	0	3	0	0	0	3
Libellulidae sp.	0	0	0	1	0	0	1
Vellidae	0	0	2	0	0	7	9
Arrenurus sp.	2	0	1	3	0	1	7
Melanoides tuberculata	3	2	4	0	48	0	57
Oligochaeta sp.	0	0	0	0	2	0	2

**Tabla 10.** Número de individuos encontrados para cada uno de los sitios muestreados.

La especie más abundante se encontró en los Vargas, correspondiente a un molusco introducido (*Melanoides tuberculata*), que además es considerada como especie invasora según la IUCN. Esta especie se asocia comúnmente con zonas de alto contenido de materia orgánica, como se observó en este sitio, donde la baja velocidad del agua permite el depósito de material lo cual genera fondos lodosos.

Las especies encontradas se capturaron principalmente en las orillas donde el sustrato deja de ser arenoso y pasa a ser más de tipo gravoso, esto debido a las necesidades particulares de las especies de macroinvertebrados observadas, las cuales prefieren sustratos formados por materiales gruesos, tipos gravas y arenas gruesas, con velocidades de corriente entre moderada y fuerte (Roldán 2003, 2008; Domínguez y Fernandez 2009), a excepción de *M. tuberculata* que se adapta muy bien a sustratos lodosos y de alto contenido de materia orgánica.

La riqueza de especies en los puntos muestreados estuvo entre 3-5 especies ( $4.5 \pm 0.84$ ), siendo el sector o playa Madrevieja el punto con el menor número de especies (3). La mayor

abundancia de individuos se presentó en el sector Los Vargas con una marcada dominancia de la especie *M. tuberculata*. Ver Tabla 10.

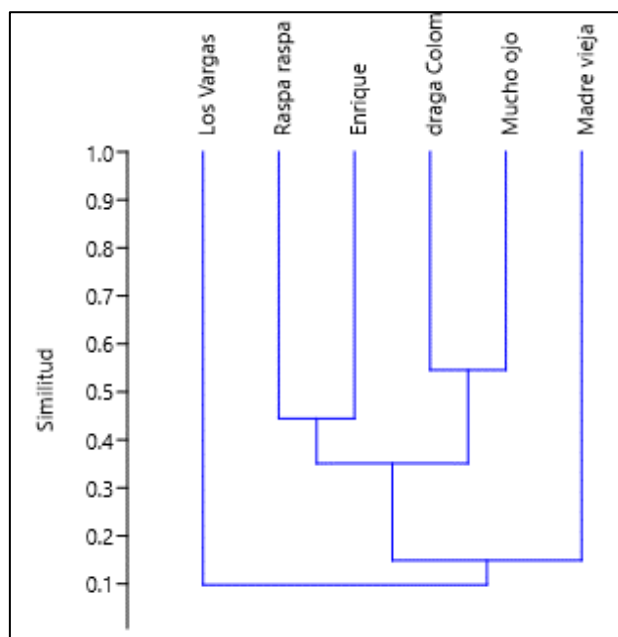
ESTACION	Especies	Abundancia	Shannon_H	Equidad_J
Enrique	5	12	1.52	0.94
Madrevieja	3	6	1.10	1.00
Raspa raspa	5	15	1.49	0.93
Mucho ojo	6	22	1.44	0.81
Los Vargas	4	52	0.35	0.25
Draga Colombia	5	22	1.12	0.69
General	13	129	1.75	0.68

**Tabla 11.** Indices de biodiversidad para cada sitio de muestreo.

La diversidad en todos los puntos puede considerarse baja, presentándose el mayor valor en la playa Enrique (H 1.52), y el menor en Los Vargas (H 0.35). El valor general de la diversidad H, uniendo las especies encontradas en todos los puntos fue de 1.75. Ver Tabla 10.

La equidad en la mayoría de los puntos fue superior al 50%, mostrando una distribución casi equitativa de las abundancias de los individuos de las especies observadas. Sin embargo, en Los Vargas, la equidad fue muy baja (J 0.25), indicando una comunidad dominada en número por una sola especie, que como ya se mencionó fue *M. tuberculata*.

El análisis de agrupamiento cluster, mediante el índice de Bray- Curtis, genera un grupo formado por los sitios Raspa raspa, Enrique, Draga Colombia y Mucho ojo. Por su parte las composiciones de las comunidades de macroinvertebrados en los Vargas y Madrevieja son diferentes entre ellas y con respecto al grupo ya mencionado. Ver Figura 20.



**Figura 20.** Análisis de similitud de Cluster.

Los parámetros fisicoquímicos no muestran diferencias significativas cuando se comparan las mediciones obtenidas en cada punto, a excepción de Los Vargas cuyos parámetros de conductividad y turbidez sí presentaron diferencias con respecto a los demás sitios, además estuvieron muy cercanos a los valores obtenidos en un punto de control tomado en la desembocadura del Río Claro, ubicada en el mismo margen de Los Vargas. Ver Tabla No. 11.

ESTACION	Z	OD	%OD	C	S	T	pH	Tu
Atilio	0.5	6.14	69.5	64.8	0.03	21.6	6.78	0.03
Enrique	0.7	6.11	69.1	65.7	0.03	21.5	6.77	0.03
Madrevieja	0.7	6.06	69.1	64.9	0.03	21.5	6.93	0.03
Raspa raspa	3.7	6.18	69.8	63.8	0.03	21.4	6.97	0.03
Mucho ojo	1.6	6.21	69.9	63.1	0.03	21.3	7.05	0.03
Río Claro	1.6	6.38	73.1	74.2	0.04	22.1	6.86	0.036
Draga Colombia	1.3	6.06	69.1	66.3	0.03	21.8	6.8	0.03
Los Vargas	0.8	6.14	69.5	70.8	0.03	22.2	6.75	0.032

**Tabla 12.** Resultados de los parámetros físicoquímicos en cada uno de los sitios muestreados.

Una visión general de la fauna de macroinvertebrados y de las condiciones fisicoquímicas observadas, permite inferir que en las zonas de acumulación de arena la oferta de hábitats para estas especies es reducida, por las propiedades intrínsecas del tipo de sustrato cuya



dinámica restringe la oferta de refugio, sin embargo las zonas próximas a los puntos de explotación que están más cercanas a las orillas y donde el sustrato se hace más rocoso con presencia de vegetación sumergida sirven de hábitat a comunidades de macroinvertebrados típicas de los ecosistemas andinos colombianos, aunque con una diversidad observada que puede considerarse baja.

Los registros obtenidos en el presente trabajo de campo, muestran diferencias con los resultados de indicadores ecológicos que fueron estimados a partir de muestreos realizados entre el 22 y 24 de junio de 2004, en desarrollo del estudio hidrobiológico adelantado en desarrollo del Proyecto de Modelación del río Cauca (Evaluación hidrobiológica del río Cauca, CVC – Univalle, 2004b), sin embargo, debe tenerse en cuenta que esos muestreos fueron realizados puntualmente para una zona cercana al Puente La Bolsa, mientras que los efectuados en el presente trabajo fueron tomados a lo largo de aproximadamente 5 km. del río Cauca, cubriendo el Puente La Bolsa. Ver Tabla 12.

	<b>Abundancia de especies</b>	<b>Riqueza de especies</b>	<b>Diversidad Shannon - H</b>	<b>Calidad de agua</b>
<b>Años</b> <b>1996 –</b> <b>2004</b>	189	14	1.95	Medianamente contaminada
<b>2017</b>	129	4.5	1.75	Medianamente contaminada

**Tabla 13.** Indicadores ecológicos reportados para el Sector del Paso de La Bolsa en estudio realizado en el año 2004 (CVC-Univalle, 2004b), y registrados en desarrollo del presente estudio (julio de 2017).

### 9.2.2. Flora:

En los sistemas lóticos, las riberas juegan un rol especial en la retención de nutrientes transportados por las inundaciones periódicas, el control sobre la cantidad de materia orgánica terrestre que se deposita en el cuerpo de agua y sobre las fuentes alimenticias de especies

vertebradas e invertebradas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Universidad Nacional, 2017). A pesar de esto, la franja contigua a las orillas del río Cauca, para la zona del Paso de la Bolsa, se encuentra actualmente prácticamente ausente de vegetación protectora. La margen derecha del río, aguas abajo del Puente La Bolsa, en la zona de estudio, presenta cultivos de caña de azúcar hasta el borde mismo del río. Aguas arriba del puente, sobre la margen derecha, asociados a la curva interna del cauce, se encuentra una franja forestal protectora intermitente, de ancho variable entre 30 y 50 m. de ancho, compuesta por cañabrava, arbustos y árboles aislados. Esta zona se ve favorecida por las crecientes periódicas del río, que trae consigo abundante materia orgánica que propicia el establecimiento de diferente tipo de especies vegetales y facilitan la interacción entre el ecosistema acuático y el terrestre. Sobre la margen izquierda, se presenta alguna cobertura menor de tipo arbórea, frente al predio Canaima, en la parte de más aguas arriba de la zona de estudio. Algunas pequeñas zonas con cañabrava se presentan puntualmente hacia las curvas internas, y un pequeño guadua aguas arriba de la desembocadura del río Claro, el cual protege la vía de acceso al corregimiento de La Ventura, de la acción erosiva sobre la margen izquierda. Este tipo de vegetación y plantas nativas en general, se acomodan y ayudan a estabilizar las orillas en forma natural; ellas son entre otras, la guadua en sus diferentes especies, la cañabrava, el sauce playero, el chilco, e infinidad de árboles, arbustos, herbáceas y pastos (Guzmán, 2006). Ver Foto 7.



**Foto 7.** Vegetación típica en las márgenes del río Cauca (Sauces y cañabrava, entre otros).



A través de los años, pero muy especialmente con posterioridad al año 2002, se aprecia un ligero enriquecimiento de la franja forestal protectora del río Cauca, especialmente aguas arriba del Puente La Bolsa, donde se evidencian mayores áreas en cañabrava sobre las márgenes.

De igual manera las madrevejas El Chuchal y El Mango, localizadas sobre la margen derecha del río Cauca, en territorio del departamento del Cauca, han sufrido una ligera recuperación vegetal en los últimos años, pero muy especialmente a partir del 2012, posiblemente asociado a los procesos de restauración que se ha iniciado sobre ellas. Ver Figura 21.



**Figura 21.** Madrevejas El Chuchal y El Mango, ubicadas sobre la margen derecha del río Cauca. Tomado de fichas preliminares de restauración de humedales EHC5 y EHC3, respectivamente.

## 10. CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD MINERA EN EL SECTOR DEL PASO DE LA BOLSA

El corregimiento del Paso de la Bolsa tiene una población de 783 habitantes, de los cuales 353 son mujeres y 353 son hombres (Pérez y Tamayo, 2011). Esta población se ha dedicado a la extracción de material de arrastre del río Cauca, constituyéndose en la principal actividad de sustento económica de este corregimiento. Uno de los hacendados más antiguos de estos territorios, el señor Edgar Calera ya fallecido, hace unos 40 años dejó uno de sus predios a la comunidad, para que sirviera de albergue y acopio del material extraído del río (Pérez y

Tamayo, 2011) y así se fue consolidando la actividad artesanal de material de arrastre en el Paso de La Bolsa; sin embargo, la tendencia en los últimos años es a disminuir el número de personas que se dedican exclusivamente a esta actividad, debido a diferentes factores sociales y económicos.

## **10.1. TIPOS DE EXPLOTACION**

Dependiendo de las condiciones geológicas, morfológicas y geográficas, las explotaciones de materiales de arrastre se realizan empleando diferentes métodos y equipos que combinan diversas técnicas y estrategias. A continuación se describirán los métodos que se adelantan de manera específica para la zona de estudio.

### **10.1.1. Extracción manual:**

La extracción manual de arenas y gravas en el río Cauca ha sido el medio de sustento fundamental de la mayor parte de las comunidades ribereñas. Para el caso del Paso de la Bolsa, esta es una actividad que se consolidó de manera simultánea con la construcción del Puente Guillermo León Valencia (entre los años 1962 y 1966, durante el mandato del presidente Guillermo L. Valencia), más comúnmente conocido como Puente del Paso de La Bolsa, en la medida que este se convirtió en un punto estratégico que conectaba los departamentos del Valle del Cauca y del Cauca y propiciaba el comercio desde el sur hacia el interior del país y viceversa (Pérez y Tamayo, 2011). A pesar de lo anterior, el Paso de la Bolsa, donde existía una barca para pasar el río, ya se constituía en sitio clave para el tránsito entre Cali y Caloto desde el año 1778 (Galindo, 2003). La explotación de arenas en el sector de La Bolsa se configuró de esta manera en la fuente de suministro para la construcción del Puente, los cuales fueron extraídos fundamentalmente de manera manual.

Hasta el año 1984, cuando se construyó la presa de Salvajina, indican los habitantes del corregimiento del Paso de la Bolsa, que abundaban las playas y las barras a lo largo de estos sectores, lo cual implicaba también que gran parte del año estas zonas permanecieran

inundadas, como terrenos cenagosos, que obligaban a sus habitantes a desplazarse en canoa.

El afloramiento de playas y barras de sedimentos, durante las épocas secas, producto de un cauce relativamente poco profundo, permite a los areneros ubicarse directamente en el cauce y realizar su extracción por medios manuales; es decir, mediante el uso exclusivo de la fuerza humana, con la utilización de picas y palas con las que aflojan los sedimentos y los cargan a canoas a motor con una capacidad de 6 a 7 m<sup>3</sup>. Ver Foto x. Estas canoas construidas en lámina de hierro, están dotadas con motores que les permiten movilizarse por el río hasta los patios de acopio, donde las arenas son descargadas bien sea con la ayuda de caballos o por medio de bandas o cintas transportadoras.

Los caballos están acondicionados con cajas de madera en su lomo, con una capacidad aproximada de 0,08 m<sup>3</sup>, correspondiente a unas 12 a 15 paladas de material. Estos transportan el material desde las canoas hasta los patios de acopio, donde son almacenadas temporalmente para su comercialización. Ver Foto 8.



**Foto 8.** Descarga de arenas con ayuda de caballos.



Otros areneros cuentan con bandas o cintas transportadoras accionadas con motores eléctricos, que tienen la facilidad para ubicarse en diferentes sectores de la orilla del cauce. Poseen una estructura metálica acondicionada con una polea que hace girar una banda construida con neumáticos, a la cual se descargan las arenas desde las canoas, y al girar la banda las vierte directamente a una zaranda donde se quedan los clastos de mayor tamaño y el material vegetal, dejando pasar las gravas, arenas gruesas y medias que son almacenadas igualmente en los patios de acopio. Ver Foto 9.



**Foto 9.** Descargue de areneros manuales con ayuda de bandas transportadoras.

El número de areneros que trabajan en el río, han ido disminuyendo considerablemente a través de los años. Es así como en el año 1986 existían dos sitios de extracción manual, 300 m. aguas arriba y 400 m. aguas abajo del Puente La Bolsa, que alcanzaban a extraer un promedio de 94 m<sup>3</sup>/día (CVC, 1985). Posteriormente en otros inventarios (CVC, 2008) se reportaban unos 120 areneros que trabajaban en estos sectores. En el año 2011, se inventariaron aproximadamente 80 areneros (Pérez y Tamayo, 2011); sin embargo, en la actualidad no superan unos 40 a 50 areneros, de acuerdo con las encuestas realizadas a la comunidad minera (Ver Anexo 6). Se debe aclarar de todas formas que sí bien los habitantes del Paso de La Bolsa, fundamentan su sustento en la minería, nunca todos están trabajando

simultáneamente en el río, ya que esta actividad la conjugan con otras, tales como la agricultura, la ganadería y la pesca (Pérez y Tamayo, 2011).

En la década de los 80s los sitios de extracción se ubicaban tanto aguas abajo como aguas arriba del Puente La Bolsa; sin embargo, el primero desapareció en la década de los 90s como sitio de extracción manual y pasó a ser explotación mecanizada. Igualmente, el sitio de extracción manual, 300 m. aguas arriba del puente, dejó de ser explotado para convertirse exclusivamente en sitio de acopio y comercialización. Los sectores de explotación se fueron desplazaron aguas arriba de la desembocadura del río Claro, sobre varias playas. En la actualidad sólo existen cinco sectores o playas, en una longitud aproximada de 2 km. denominadas de aguas abajo hacia aguas arriba, Mucho Ojo, Raspa Raspa, Madre Vieja, Enrique y Atilio (Ver Figura 17).

Los areneros trabajan normalmente en grupos de tres personas, las cuales se dividen el trabajo entre el que extrae el material de la playa, el que evacúa las aguas que se van almacenando adentro de la canoa, el que maneja la canoa y de igual forma, en el sitio de descargue, entre el que patea el material a los caballos, y el que los guía hasta el sitio donde se vierte el material en pilas. Ver Foto 10.



**Foto 10.** Patios de acopio de material explotado por los areneros artesanales del sector del Paso de La Bolsa.

En un día cada grupo realiza un promedio de 3 viajes o cargues de canoa, de 6 a 7 m<sup>3</sup>, para un total diario de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>; sin embargo, este no es un volumen constante, ya que depende de factores tales como el clima, la demanda, la condición de salud de los areneros y, lo más importante, la oferta de material de arrastre. La dedicación o tiempo de trabajo de los areneros es irregular, por lo que algunas semanas trabajan sólo cinco (5) días, y en otras, apenas dos (2) o tres (3) días a la semana. Ver Tabla 13.

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de Explotación</b>	<b>Volúmen promedio estimado de explotación en m<sup>3</sup>/día – ton/día</b>	<b>Frecuencia mensual</b>
Draga Serra Riascos	Mecanizada (Draga)	120 - 200	24 días
Olimpa Yara y otros	Manual	20 - 34	12 días
Wilmar Balanta y otros	Semimecanizada	20 -34	24 días
<b>Total aguas arriba</b>		<b>160 - 272</b>	
Malacate Los Vargas	Mecanizada (Malacate)	40 - 68	24 días
Dragados Colombia	Mecanizada (draga)	120 - 200	24 días
Dragados La Esperanza	Mecanizada (draga)	120 - 200	24 días
<b>Total aguas abajo</b>		<b>280 - 476</b>	
<b>TOTAL TRAMO</b>		<b>440 - 748</b>	

**Tabla 14.** Descripción de explotaciones en el sector del Paso de la Bolsa.

#### 10.1.2. Explotación semimecanizada:

En la medida que la extracción manual se ha ido dificultando por la profundización del cauce, y por ende de las playas y barras, la explotación manual se ha ido tecnificando con la introducción de equipos mecánicos, con los cuales obtienen un mayor rendimiento y les permite trabajar aún cuando las playas se encuentran sumergidas. En este tipo de explotación la canoa es acondicionada con una especie de malacate muy rudimentario, el cual posee un



trípode anclado a la base interna de la canoa, y un cable metálico que tiene una polea que permite el giro de un cable metálico que sostiene el balde metálico. Este balde con una capacidad aproximada de  $0,16 \text{ m}^3$  es descolgado al fondo del cauce, donde arrastra y se llena de sedimento, para nuevamente ser halado a la superficie, donde es descargado a las canoas que lo transportan hacia los patios de almacenamiento. Ver Fotos 11 y 12.



**Foto 11.** Vista de las canoas a las cuales se les han instalado baldes metálicos para la extracción de arenas y gravas del fondo del cauce.



**Foto 12.** Malacate usado por algunos areneros del Paso de La Bolsa.

La canoa se mantiene fija en el río gracias a que es anclada con un lazo a una barra de acero que se hince al lecho.

Los sitios donde se realiza este tipo de explotación son las mismas playas donde también se realiza extracción manual, dependiendo de las condiciones de profundidad del río y de la oferta de material.

Aproximadamente 25 personas realizan explotación con estos equipos, las cuales constituyen a su vez el mismo número de familias.

Este tipo de explotación es realizada de manera más permanente, aunque también la condición del clima afecta el trabajo durante ciertas temporadas del año; sin embargo, este grupo de areneros es más constante en su labor y trabajan entre 8 y 9 horas diarias, entre las 5:00 AM y las 2:00 PM, de lunes a viernes, principalmente.

Desde el punto de vista técnico y jurídico, este tipo de minería es concebida por la entidad minera – ANM y el Ministerio de Minas y Energía, como un método manual de explotación, ya que se considera que el halado del cable que sostiene el balde, es un medio de transporte y no de extracción del material, lo cual no es del todo cierto.

#### **10.1.3. Explotación mecanizada:**

Existen varios tipos de equipos o maquinaria pesada utilizada para explotar las arenas y sedimentos en general, encontrados en el tramo objeto de estudio:

**Draga de succión:** Corresponde a un planchón dotado de una tubería metálica de 10” de diámetro en promedio, y de longitud variable (entre 8 y 10 m aproximadamente) dependiendo de la profundidad del cauce. Esta tubería se sujeta de un mástil que le permite bajar al fondo del lecho del cauce y succionar los sedimentos que se transportan como carga de fondo. Estos sedimentos son llevados hasta un patio de acopio, localizado frente o muy cerca a la draga, a través de una tubería formada por la unión de varios segmentos en longitud variable, hasta alcanzar el patio de acopio, donde los sedimentos son descargados en medio acuoso. Esta tubería se ata a unas canecas metálicas de 55 galones, que la mantienen a flote y facilita que los sedimentos sean transportados por succión hasta los patios de acopio, donde se decantan y las aguas sobrantes son conducidas mediante canales perimetrales hasta un punto cercano



al talud del cauce, para nuevamente ser devueltas al río. Sí bien este tipo de maquinaria es altamente eficiente, y no posee limitaciones de tiempo y clima, tiene el inconveniente de una mínima movilidad a través del cauce, lo cual conlleva a que en muchos casos permanezcan años y hasta décadas ancladas a un mismo sitio, ocasionando grandes profundizaciones del lecho y escasez local del material, con posteriores problemas de erosión lateral y erosión remontante. Con estos equipos se pueden tener rendimientos de 200 m<sup>3</sup>/día en promedio y superiores (CVC, 2008a). Ver Fotos 13 y 14.



**Foto 13.** Draga Señor Guillermo Serra. Aguas arriba del tramo de los areneros manuales.



**Foto 14.** Dragados Colombia. Aguas abajo del Puente La Bolsa.

Las tuberías de succión de las dragas desde hace más de una década, han sufrido en su mayoría una transformación en su mecanismo de funcionamiento, debido a que se ha acondicionado en su punta, un cabezote dotado de aspas, las cuales rotan y taladran el lecho aluvial, para extraer por succión las arenas. Ver Foto 15 (CVC, 2008a). Esta modificación en el mecanismo de funcionamiento también ha sido un factor que ha contribuido con la

disminución paulatina de estas máquinas, ya que ha ido agotando el recurso minero, dejando fuera de operación a muchas de éstas.

De acuerdo con los inventarios realizados por la CVC en diferentes épocas, este tipo de maquinaria tuvo un auge en las décadas de los 80s y 90s, cuando alcanzaron un número promedio de 30 dragas, entre el Paso de la Balsa y el Paso de La Torre (CVC, 2008a); sin embargo, la tendencia en los últimos años es a la disminución de este tipo de equipos.



**Foto 15.** Vista del taladro con el que acondicionan algunas dragas para facilitar la explotación del lecho del río. Foto tomada de Estudio CVC, 2008a.

En la zona de estudio se presentan actualmente tres dragas, dos de ellas aguas abajo del puente Guillermo León Valencia (La Esperanza y Dragados Colombia), y otra, aguas arriba de las zonas de explotación de los areneros del Paso de La Bolsa, de propiedad del señor Guillermo Serra. Ver Fotos 13 y 14.

**Malacate:** Está formado por dos canoas unidas por un planchón metálico, al cual está acondicionado con un mástil del cual cuelga un cable metálico y a su vez de este, un balde metálico de 0,8 m<sup>3</sup> de capacidad, que se lanza al fondo del cauce y arrastra por su propio peso, los sedimentos que se depositan en el lecho. Al devolver este balde nuevamente a la superficie, es descargado a una canoa, con una capacidad variable, entre 6 y 7 m<sup>3</sup>, la cual

transporta el sedimento extraído hasta los sitios de acopio, sobre las orillas del cauce. Este tipo de maquinaria se ha convertido, desde el punto de vista exclusivamente minero, en la más versátil y eficiente para la explotación de materiales de arrastre del cauce del río Cauca; sin embargo, precisamente su poca limitación espacial y su proliferación a través de los años, los ha convertido en equipos de alto impacto ambiental, que se desplazan por el cauce en algunas ocasiones, más de dos kilómetros al día, buscando las zonas donde se deposita el sedimento. A pesar de esto, es considerado por el Ministerio de Minas y Energía como un método de explotación manual, como se indicó anteriormente.

En el tramo de estudio se localiza una de estas máquinas en la Arenera Los Vargas, aproximadamente 500 m. aguas abajo del Puente Guillermo León Valencia. Ver Foto 16.



**Foto 16.** Malacate Los Vargas, aguas abajo del Puente La Bolsa.

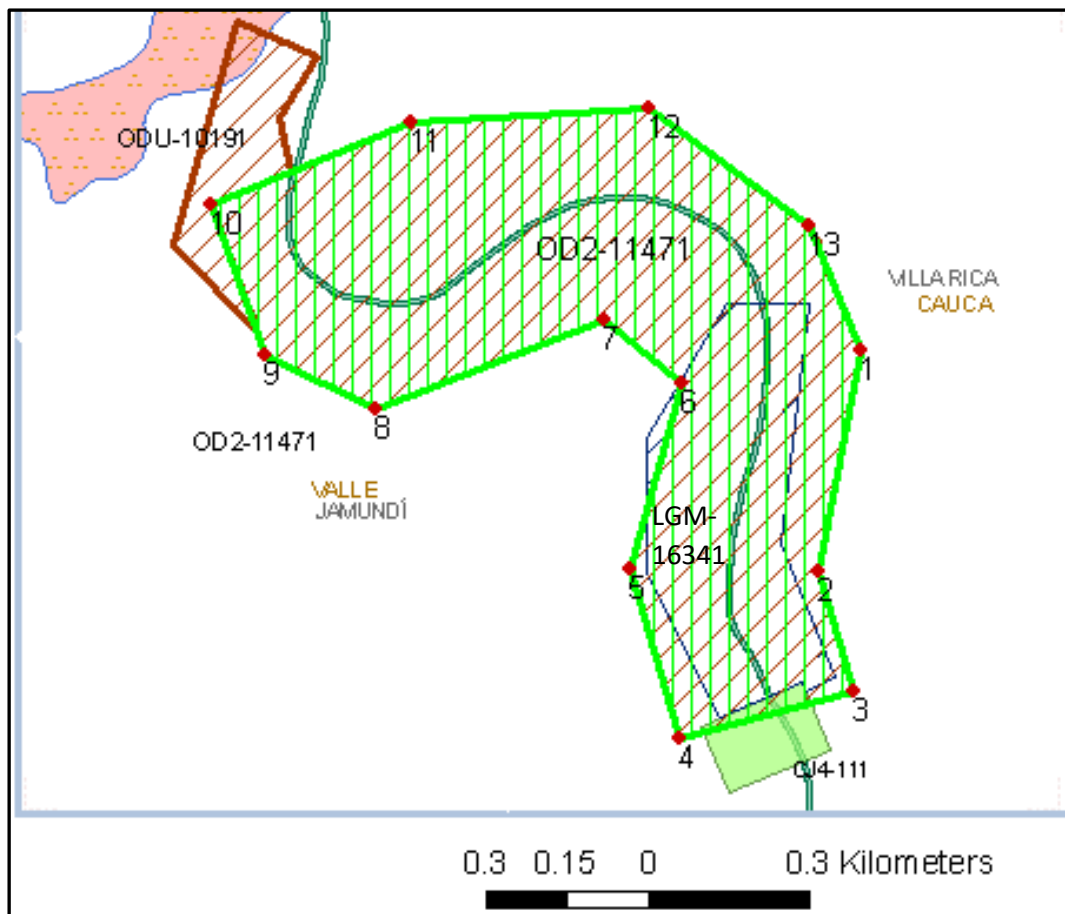
## 10.2. SITUACION LEGAL

Los materiales de arrastre, considerados como recurso minero a partir del Código de Minas del año 2001 (Ley 685), deben surtir un trámite jurídico y técnico para su explotación. En primera instancia se debe adelantar trámite ante la Agencia Nacional de Minería – ANM para obtener contrato de concesión y registro minero. Posteriormente se deben elaborar y presentar el Plan de Trabajos y Obras – PTO ante la ANM y el estudio de impacto ambiental ante la entidad ambiental, para que sean aprobados por esas entidades, momento en el cual los titulares mineros alcanzan el derecho para iniciar la fase de explotación.



Como excepción a este trámite, a partir de la Ley 685 de 2001 se dio apertura a procesos de Legalización de Minería de Hecho, que pretendían privilegiar a aquellos mineros que venían trabajando con anterioridad a esa ley.

Específicamente la comunidad del Paso de La Bolsa posee dos grupos de areneros. Unos que realizan y defienden su actividad manual, a pesar de las difíciles condiciones del río. Estos se encuentran liderados por la señora Olimpa Yara, quien se encuentra incluida en la Solicitud de Legalización minera ODU-10191, junto con Luifer Yara García, Pablo Emilio Yara García, Ursulina García García, José del Carmen Yara García, Angel Aquiler Yara García, Alirio Mezú y Margoth García. Esta solicitud posee un área de 36,9 Ha y se ubica 600 m. aguas arriba del Puente Guillermo León Valencia, frente a la desembocadura del río Claro. Ver Figura 22.



**Figura 22.** Localización de solicitudes y títulos mineros, aguas arriba del Puente de La Bolsa. Fuente: Catastro Minero Nacional.

Esta solicitud que fue radicada en abril de 2013 y aún se encuentra vigente en el Catastro Minero Nacional, sufrió un recorte que prácticamente la deja en este momento sin cauce sobre el río Cauca. Ver Figura 22.

El otro grupo de areneros del Paso de la Bolsa se encuentra dentro de la Legalización minera OD2-11471, iniciada el 2 de abril de 2013 y liderado por Wilmar Balanta Velásquez, Reinaldo Zúñiga Cifuentes, Rodrigo Torres y José Fernando Salcedo. Ocupa un área de 68,2 Ha y se localiza 1 km. aguas arriba del Puente Guillermo León Valencia, en una longitud de 2,1 Km.

Estas dos solicitudes de legalización de la comunidad minera del Paso de La Bolsa (ODU-10191 y OD2-11471), se encuentran vigentes y activas en el catastro minero nacional, sin embargo, aún tienen que surtir un largo trámite para lograr su legalización definitiva. En primer lugar deben elaborar el Plan de Trabajos y Obras – PTO, posteriormente deben presentarlo ante la Agencia Nacional de Minería – ANM para su aprobación, y simultáneamente deben presentar ante la CVC el Plan de Manejo Ambiental – PMA para su establecimiento. Sólo después de estos dos requisitos, pueden aspirar a contar con contrato de concesión y registro minero con la ANM.

A pesar de lo anterior, es importante mencionar que mediante Resolución 0205 del 22 de marzo de 2013, la Agencia Nacional de Minería - ANM estableció el procedimiento para la declaración y delimitación de Áreas de Reserva Especial - ARE, de que trata el Artículo 31 del Código de Minas. Esta norma pretende cobijar a aquellos mineros que logren demostrar que llevan trabajando por lo menos durante cinco (5) años seguidos, los cuales debieron transcurrir dentro de los diez (10) años anteriores a la presentación de la solicitud. Los requisitos con los que deben cumplir entre otros son:

- Identificación de cada uno de los interesados mineros
- Plano de localización del área de explotación
- Inventario de las labores mineras donde se indique (coordenadas, minerales, número de trabajadores, infraestructura, producción, antigüedad y equipos utilizados).
- Descripción de las condiciones sociales

- Documentos que demuestren la antigüedad (facturas de venta, comprobantes de pago de regalías, informes de entidades del estado, etc).

Presentados estos documentos, la entidad minera los evalúa, y si considera que cumplen, programa visita de verificación y emitirá concepto técnico acerca de la viabilidad de declaración de área de reserva especial. Posteriormente la AMN emite el acto de declaratoria y delimitación del ARE y elabora los estudios geológicos y mineros, a partir de los cuales los interesados deben hacerse cargo de la elaboración del Plan de Trabajos y Obras - PTO y del trámite de licencia ambiental.

Esta oportunidad que se abre es una alternativa que tiene la comunidad del Paso de La Bolsa, para que puedan seguir adelantando su actividad de manera legal.

En el sector de más aguas arriba del polígono OD2-11471, en una longitud de 800 m. a lo largo del río, este se traslapa con la solicitud del contrato de concesión LGM-16341, cuyos titulares son los señores Elizabeth Ibarra y Manuel José Castrillón, los cuales no realizan actividad minera en esta área.

A su vez en los últimos 100 m. de aguas arriba del polígono OD2-11471, este se traslapa con el área del contrato de concesión CJ4-111, cuyo titular es el señor Guillermo Serra Riascos, quien realiza explotación mecanizada por medio de una draga de succión, desde hace aproximadamente 15 años. Este título minero cuenta con Licencia Ambiental otorgada por la CVC en el año 2009.

Aguas abajo del Puente Guillermo León Valencia, se localiza la solicitud de contrato de concesión RC4-15061 del señor Leonardo Vargas, el cual realiza explotación con un malacate, desde hace más de 10 años, de acuerdo con inventarios efectuados por la CVC (CVC, 2008a). Ver Figura 23.

Limitando con el área del señor Vargas hacia aguas abajo se encuentra el polígono del contrato de concesión IDQ-10391 cuyo titular es el señor Armando Arango Montaña, el cual

cuenta con una draga de succión que realiza explotación desde hace por lo menos 15 años. Este sitio se conoció durante muchos años como Dragados Colombia.

Por último, se ubica en el tramo de más aguas abajo, dentro de la zona evaluada, el polígono de la solicitud de contrato de concesión RC4-15101 del señor Fernando Saldaña Torres, quien explota con una draga de succión aproximadamente desde el año 2007 a 2008 (CVC, 2008a) en una longitud de apenas unos 200 m. Ver Figura 23.

A excepción del contrato de concesión CJ4-11, ninguno de estos títulos o solicitudes cuentan con instrumento ambiental (licencia ambiental o plan de manejo ambiental), o han iniciado trámite con las corporaciones del Valle del Cauca (CVC) o del Cauca (CRC).

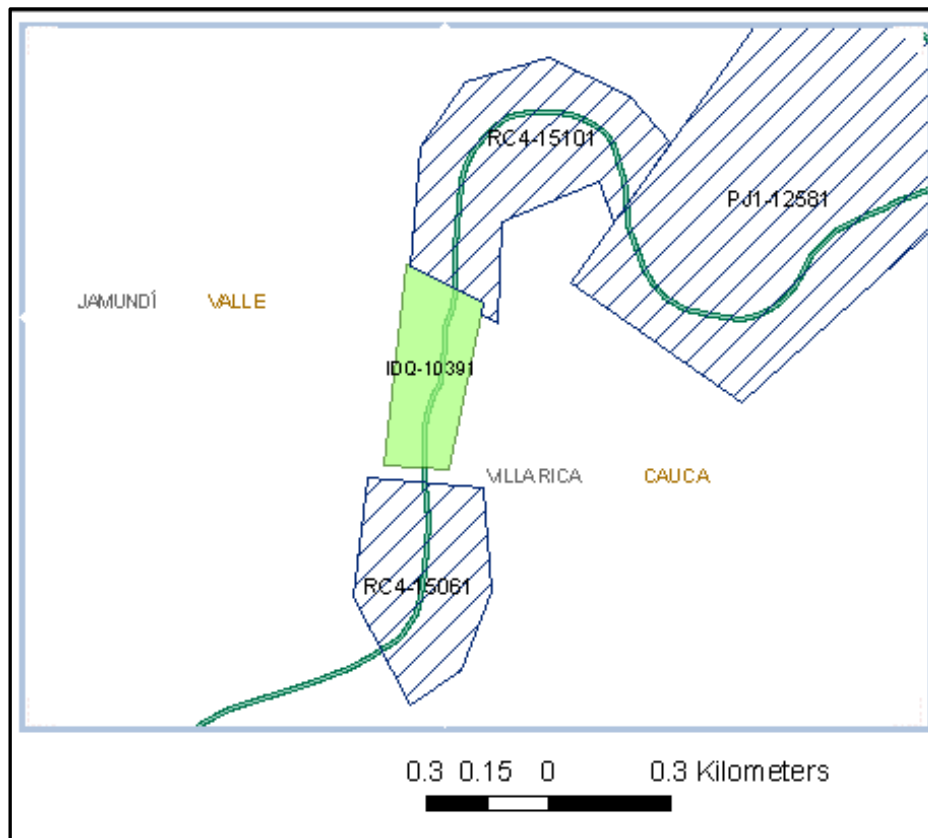


Figura 23. Localización de solicitudes y títulos mineros, aguas abajo del Puente La Bolsa. Fuente: Catastro Minero Nacional.

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, no posee términos de referencia para elaboración de explotación de materiales de arrastre, tan sólo dispone de manera muy genérica de términos para proyectos de explotación minera, los cuales se aplican mejor a



minería subterránea o a cielo abierto para minerales asociados a macizos rocosos, pero poco prácticos o aplicables a materiales dinámicos y en permanente cambio como son los materiales de arrastre. La CVC tampoco posee unos términos de referencia específicos en este tema, y para cada caso en particular, después de una visita al sitio, se expiden términos específicos, enfocados al área del proyecto.

En el año 2013 el Ministerio de Minas realizó un trabajo tendiente a ajustar la normatividad y los requerimientos técnicos que permitan adelantar de manera adecuada la explotación de los ríos en Colombia, a pesar de ello, hasta el momento no se han establecido normas o guías específicas para la explotación de materiales de arrastre, bien sea por parte del Ministerio de Minas y Energía o de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Las corporaciones autónomas regionales del eje cafetero (CARDER y CRQ) y la CVC, han elaborado normas y guías para orientar el manejo ambiental de las explotaciones de materiales de arrastre, planteando métodos de explotación, tanto para cauce activo, como para terrazas por fuera de la zona de actividad.

A partir de los resultados del estudio de exploración semidetallada de material de arrastre en la cuenca del río La Vieja del año 2002 elaborado por la Universidad Nacional de Medellín, la CRQ adoptó mediante Resolución No. 739 de 2003, lineamientos ambientales la expedición de términos de referencia para elaboración de estudios de impacto ambiental para explotación de materiales de arrastre en su zona de jurisdicción; sin embargo las políticas de esa corporación han sido contrarias a esos lineamientos, al prohibir las extracciones en cauce activo y limitar las autorizaciones ambientales a las explotaciones en terrazas, lo cual ha conllevado a la ha llevado a la generación de pasivos ambientales de grandes dimensiones, ya que existen pozos de 15 y 18 m. de profundidad, los cuales no tienen prácticamente posibilidad de recuperación.

La Guía de la CVC en estos temas (CVC, 2008c), aún se encuentra en proceso de revisión, motivo por el cual tampoco se ha llevado a un acto administrativo; sin embargo, se ha tenido

como directriz general, la autorización primordialmente de explotaciones en cauce activo o lecho de río, bajo la premisa de que su recuperación es probable en el tiempo, lo que no sucede con las terrazas aluviales, para las cuales es incierta su posibilidad de rehabilitación.

### 10.3 EFECTOS AMBIENTALES DE LAS EXPLOTACIONES DE MATERIALES DE ARRASTRE

#### 10.3.1. Sobre el componente físico:

Para la zona de estudio se han generado una serie de efectos sobre el componente físico, producto de las explotaciones de materiales de arrastre. Los parámetros morfométricos del cauce se han modificado notoriamente en aquellos sitios donde las explotaciones se han realizado de manera puntual y durante varios años, prácticamente de manera ininterrumpida, como ha sido aguas abajo del Puente La Bolsa. Frente a los sitios donde se han realizado explotaciones mecanizadas con malacate, pero muy especialmente con draga de succión y corte, el cauce ha pasado de tener entre 90 y 120 m. de ancho en el año 2002, a 60 y 70 m. de ancho en el año 2017, es decir en un lapso de 15 años, ha disminuido entre un 30 y 40% su ancho. Ver Figura 24.



**Figura 24.** Cambios que ha sufrido el cauce del río Cauca, en el tramo de explotación mecanizada. Nótese la drástica disminución del ancho entre los años 2002 y 2017. Fuente Google Earth.

De igual forma producto de las sobre-explotaciones aguas abajo del puente, el cauce ha pasado de tener entre 8 y 10 m. de profundidad, a 12 y 18 m.

Estos aumentos locales en el ancho y profundidad, ocasionan un cauce con orillas irregulares y serpenteantes, debido al efecto puntual que hacen los fosos dejados por la explotación mecanizada sobre los taludes, que se hacen más altos y verticales, propiciando su desplome y retroceso, tal como se puede observar en la foto derecha de la Figura 24, donde el cauce se ha estrangulado notoriamente a unos 55 m. de ancho. De igual forma las orillas han pasado de ser regulares y homogéneas, a serpenteantes y erosionadas. El primer efecto o impacto sobre el cauce es la profundización, seguida de la ampliación del cauce y erosión remontante.

La sinuosidad para el tramo mecanizado aumentó un 15% en cincuenta años, mientras que en el mismo lapso de tiempo, sólo aumentó un 5%, para el tramo de aguas arriba del puente.

Los procesos de desestabilización de orilla en los sitios donde se encuentran los fosos, motivan a los propietarios de estos predios al arrojo de escombros en estas orillas, con la intención de fijarla y evitar su erosión, sin embargo esta medida lo que hace es aumentar la socavación del foso y posteriormente la erosión lateral, por lo que termina siendo una actividad que empeora el problema. Ver Foto 17.



**Foto 17.** Arrojo de escombros en la zona explotada con equipos mecánicos (dragas y malacate).

En relación con las aguas subterráneas, si bien no es posible atribuir de manera contundente que la paulatina profundización del cauce del río Cauca puede conllevar a el abatimiento del

nivel freático en las zonas vecinas al río, sí se aprecian a través del tiempo, mayores lapsos de tiempo en que las madrevejas se secan o limitan al máximo su espejo de agua.

### 10.3.2. Sobre del componente biótico:

La zona riparia del río Cauca ha venido siendo afectada a través de los años de manera lenta pero paulatina, por todo tipo de actividades antrópicas que se adelantan en el cauce, como es la actividad minera, y las agropecuarias que se desarrollan en las márgenes hasta el borde mismo del cauce.

Específicamente las actividades mineras han afectado la franja forestal protectora, interviniéndola para ubicar los patios de acopio de los materiales extraídos del cauce, tanto por parte de mineros manuales, como mecanizados. Las vías que se aperturan para acceder a estos patios, también son utilizadas por terceros para el ingreso de volquetas con escombros de construcción, que posteriormente arrojan sobre las márgenes, en muchas ocasiones con la complacencia de los propietarios o los mismos mineros.

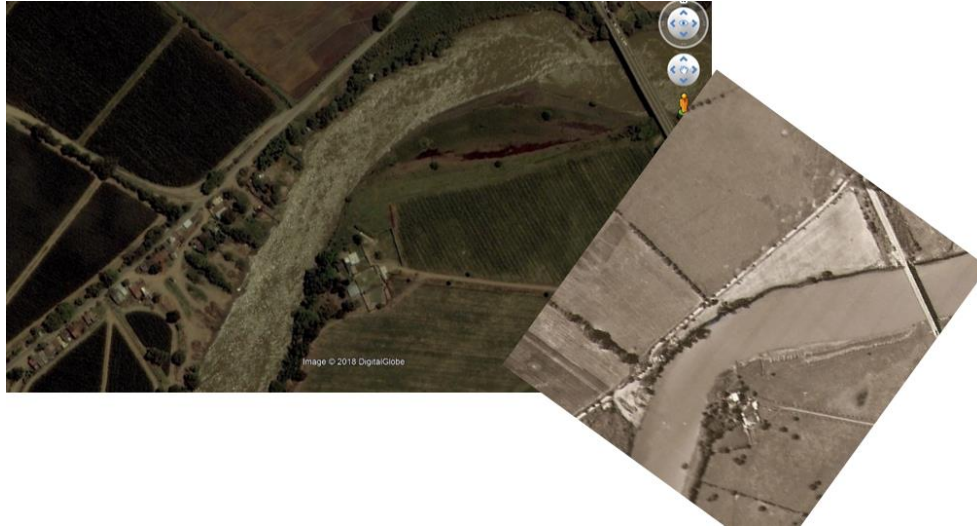
En la Figura 25 se puede apreciar que la franja forestal protectora de la margen izquierda, donde se localiza toda la infraestructura de apoyo minero de la actividad mecanizada (patios, vía de acceso, vivienda, etc) ha sido la más afectada.



**Figura 25.** Afectación de la zona riparia del río Cauca en el sitio de acopio de la minería mecanizada. A la izquierda una imagen aérea del Google Earth del año 2017 y a la derecha una foto aérea de 1986.



En la Figura 26, a simple vista también se aprecia una disminución de la vegetación en la margen izquierda, donde se ubicaron los patios de acopio de los areneros artesanales, sin embargo, de igual manera el movimiento o desplazamiento horizontal de esta margen ha sido más fuerte, lo cual también ha afectado la vegetación encontrada en ella.



**Figura 26.** Afectación de la zona riparia del río Cauca en el sitio de acopio de los areneros manuales. A la izquierda una imagen aérea del Google Earth del año 2017 y a la derecha una foto aérea de 1986.

Se presume que la afectación de las márgenes del río Cauca, con todo tipo de actividades antrópicas, no sólo mineras, han contribuido con el deterioro de las condiciones ambientales, de las cuales dependen diferentes tipos de especies vegetales y faunísticas que habitan en estos sectores. Dentro de estos últimos, los macroinvertebrados acuáticos son quizás los más afectados.

Al observar los valores de abundancia de estas especies se ve que la encontrada en el muestreo realizado en el presente estudio, es casi el 70% de la registrada en junio del año 2004, en el estudio hidrobiológico adelantado dentro del Proyecto de Modelación del río Cauca (CVC – Univalle, 2004b) y que los valores de diversidad están muy cercanos; sin embargo este índice no es comparable directamente, sino que debe ser contrastado mediante una *t* de Hutcheson o Bootstrap, adicionalmente deberían conocerse los conteos originales (datos crudos o en bruto) de los muestreos de junio de 2004. La riqueza, aunque no es una

comparación estadística, es el parámetro visiblemente diferente, aunque también podría estar asociada con un efecto de anidamiento, pero por el hecho de ser el parámetro más extenso en tiempo y espacio, es el que podría ser el más significativo y revelador.

### **10.3.3. Sobre el componente social:**

Las explotaciones de materiales de arrastre realizadas en la zona del Paso de la Bolsa, también han tenido consecuencias negativas sobre la comunidad minera. En primera instancia el aumento en el número de actividades mecanizadas, las cuales poseen lógicamente una mayor capacidad de explotación, han disminuido la oferta de material de arrastre y limitado la explotación manual. Para el año 1986, cuando la CVC realizó el primer inventario de sitios de explotación, las actividades mecanizadas no existían en el sector del Paso de La Bolsa. Posteriormente en el inventario realizado dentro del Proyecto de Modelación del Río Cauca, en el año 2000, se reportó la presencia de una draga, 1 km. aguas abajo del Puente Guillermo León Valencia. En el año 2002, la CVC registraba la misma draga, 1 km. aguas abajo del puente y otra, 3 km. aguas arriba; mientras que en el inventario del año 2008, se presentaban una draga y un malacate, a 3 km y 1 km, respectivamente, aguas arriba del puente, y dos malacates y dos dragas a 0,5; 1,1; 1,3 y 1,4 km. respectivamente aguas abajo del puente. Lo anterior indica que en cuestión de ocho años, para un tramo de 4,5 km de longitud, se pasó de una explotación mecanizada, a seis.

Esta situación ha llevado a que los areneros que realizaban explotación mecanizada aproximadamente 6 a 8 meses al año, cuando los niveles del río eran más bajos y afloraban playas, pasaran a explotar como máximo durante cuatro meses al año, cuando los niveles del río son extremadamente bajos.

Muchos de estos areneros manuales se vieron obligados a acondicionar sus barcasas o canoas con baldes metálicos, de menor capacidad que los malacates, pero también con posibilidad de generar mayores impactos sobre el cauce; lo que a su vez desencadena conflictos sociales al interior de la comunidad del Paso de La Bolsa, entre los que defienden

la actividad estrictamente manual por encima de todo, y los semimecanizados, que aseguran que es la única alternativa que les queda para continuar con su actividad minera.

Los conflictos sociales también existen entre los mecanizados y los manuales, ya que los primeros, al no tener limitaciones para realizar su actividad prácticamente durante todo el año, y en grandes volúmenes, pueden comercializar el material a menor costo.

Los propietarios de predios aledaños al cauce del río Cauca, los cuales en su mayor parte dedican sus tierras al cultivo de la caña de azúcar, se encuentran en permanente pugna con los areneros manuales, asegurando que en ciertas épocas del año, cuando el cauce disminuye los depósitos que pueden aprovechar manualmente, se desplazan hacia el pie de los barrancos del cauce, donde extraen ciertos niveles de arenas que sirven de sostén y ocasionan desplome de los mismos y procesos de erosión lateral que hacen perder terrenos que se dedicaban a la caña.

#### **10.3.4. Sobre infraestructuras: puente Guillermo León Valencia.**

El Puente Guillermo León Valencia construido durante el período presidencial de quien lleva su nombre y puesto en funcionamiento en el año 1966, está formado por tres pilas centrales que dejan tres luces de 35 m. cada una y una luz de 34.5 m. sumando una longitud total de 140 m. y un ancho de 9.4 m, de los cuales 7.95 m. son libres, (Galindo, 2003). No se cuentan con planos de diseños de este puente, dada su antigüedad.

La curva aguas arriba y el estribo izquierdo han presentado históricamente evidencias de erosión por lo que el estribo de la margen izquierda se trató de proteger en las décadas de los años 70s y 80s con varias obras de control fluvial, (Guevara, 2016). Adicionalmente, entre noviembre de 1996 y marzo de 1997 se construyeron nuevas obras de protección del estribo izquierdo del puente, consistentes en espolones de protección longitudinal de la orilla y un tablestacado metálico. Ver Fotos 18 y 19.



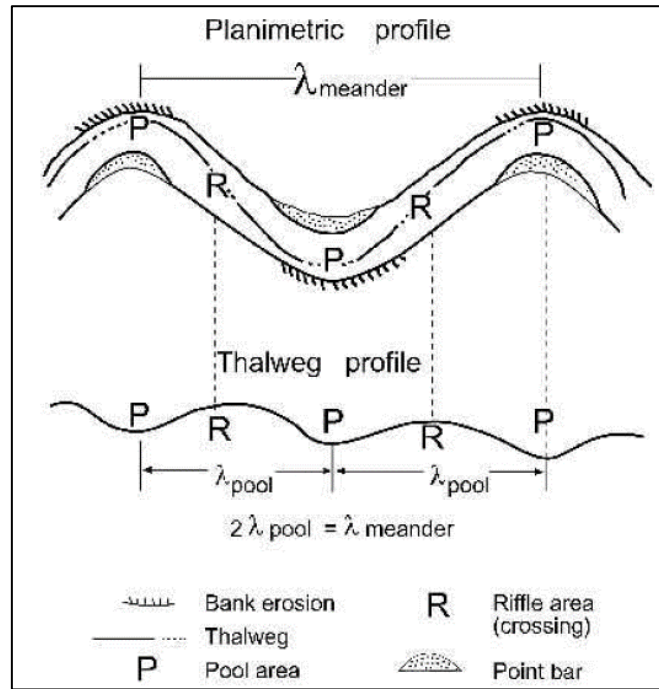


**Foto 18.** Construcción de espolones junto al estribo izquierdo del Puente La Bolsa. (tomado de PILCO, 1996).



**Foto 19.** Hincado de tablestacas con martillo vibrador (tomado de PILCO, 1996).

Cuando se construyó este puente, fue localizado en el punto intermedio o punto de inflexión entre dos curvas contrarias, donde se forman rápidos (R) y el lecho se levanta. El desarrollo de un patrón ondulante de piscinas y rápidos se considera una característica inherente de los canales aluviales, y particularmente de ríos serpenteantes o meándricos (Hudson, 2002). Con la evolución morfológica natural del cauce a través de los años, la primera de estas dos curvas contrarias se ha ido desplazando hacia aguas abajo, motivo por el cual el estribo izquierdo del puente que se ubicaba en el sitio del rápido (R), ahora se localiza en la curva externa o zona de piscina (P), donde el lecho se profundiza. Ver Figura 27 y Foto 20.



**Figura 27.** Zona de formación de rápidos (rifles) y piscinas (pool) entre dos curvas contrarias. Tomado de Hudson, 2002.



**Foto 20.** Erosión que se presenta hacia el estribo de la margen izquierda del Puente La Bolsa y que afecta el tablestacado construido en el año 1996.

En cuanto al estribo derecho, éste también cuenta con un tablestacado metálico que protege la pila de la acción erosiva del flujo y que lo ha mantenido en buenas condiciones, dada la formación de playa que se generó a partir del año 2002 inmediatamente aguas arriba; sin embargo, hacia aguas abajo, donde no existe tablestacado, el estribo ha empezado a verse afectado por la erosión de la margen derecha, hacia donde se está desplazando la curva. Ver Foto 21.



**Foto 21.** Tablestacado que protege la pila ubicada en la margen derecha. Nótese la erosión que afecta la parte posterior del tablestacado donde se ubica la pila.

#### 10.3.5. Afectación de vías veredales:

En el tramo de estudio se encuentran dos carreteables ubicados sobre la margen izquierda del río Cauca, que llevan desde el Puente La Bolsa hacia la vereda Bocas del Palo (por el norte) y hacia la vereda La Ventura (por el sur).

Para la vía a la vereda Bocas del Palo, se presentan dos sectores muy cercanos al cauce del río Cauca, uno frente a Dragados Colombia (abscisas K5+150 y K5+200 de la topografía levantada), y otro frente a la Draga del señor Fernando Saldaña (Abscisa K5+899), donde la banca se ve afectada por erosión lateral del cauca, y como evidencia de ello es el permanente arrojo de escombros que se realiza, pretendiendo fijar esta orilla y limitar la erosión.

En cuanto a la vía hacia la vereda La Ventura, el río Cauca se acerca a su banca en la abscisa K3+000, sin embargo a pesar de ser la curva externa, ésta sólo ha retrocedido 6 m. en quince (15) años.



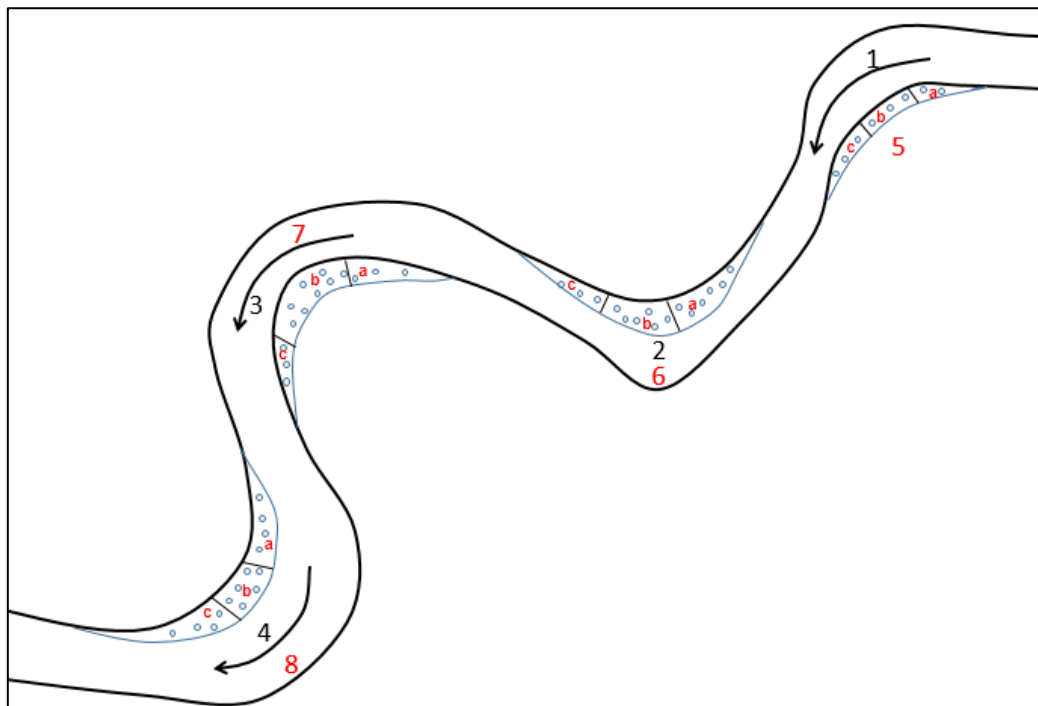
## 11. ESTRATEGIAS DE SUSTENTABILIDAD PARA LA EXTRACCION ARTESANAL DE LOS ARENEROS DEL PASO DE LA BOLSA.

### 11.1. PERIODOS DE EXPLOTACION

La sostenibilidad ambiental de la explotación de materiales de arrastre depende de la posibilidad que se le brinde al cauce recuperar su carga de sedimento. Es decir que se exploten exclusivamente los excedentes de material que se depositan en el lecho del cauce, porque el flujo no puede seguir transportándolos y se depositan en forma de playas y barras. Teniendo en cuenta lo anterior, la explotación debe ser realizada por ciclos, bien sea de días o máximo semanas, para una misma playa o barra.

La longitud de explotación debe ser preferiblemente mayor a los 500 m. lineales de cauce, con el objeto de permitir la explotación cíclica, siempre de aguas arriba hacia aguas abajo, y facilitar la recarga de las playas que se han ido explotando en el tramo de aguas arriba. Ver Figura 28.

De igual manera al interior de cada playa o sector de explotación, se debe realizar el barrido a través de franjas de aguas arriba hacia agua abajo (a, b y c), ver Figura 28.

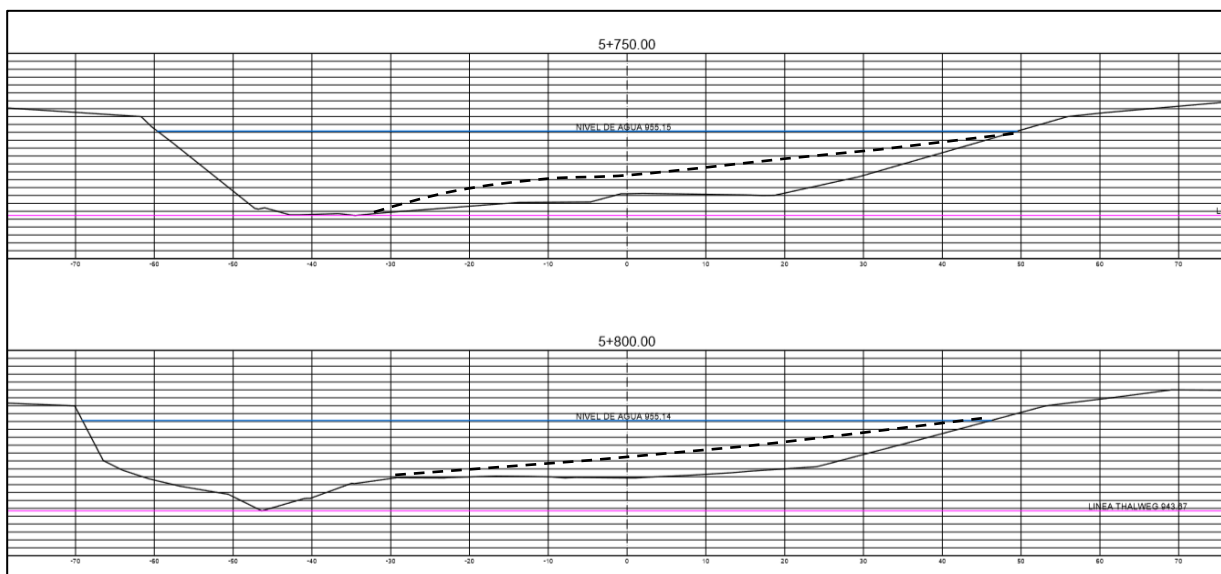


**Figura 28.** Ciclos de extracción de un cauce.

## 11.2. ZONAS DE MAYOR POTENCIAL

Dentro del cauce activo del río Cauca, las explotaciones deben ser planteadas, sólo en aquellos sitios, que se caracterizan por ser zonas de depósito natural. Los albardones naturales o playas ubicadas en la parte interior de la curva, al igual que las zonas de rápidos, donde se presenta la inflexión entre dos curvas, son las áreas más propicias para la extracción de gravas y arenas gruesas, para las primeras y de arenas medias y finas para las segundas.

Sin embargo debe tenerse en cuenta que no todas las curvas cuentan con estos depósitos de albardones naturales, puesto que sobre-explotaciones del cauce pueden conllevar al corte de estos depósitos o incluso su ausencia total, como es el caso de la curva ubicada 1,5 km. aguas abajo del puente La Bolsa, donde la curva interna, en vez de tener una pendiente suave que se dirige hacia la margen externa (izquierda), presenta un talud con fuerte inclinación, ver Figura 29.



La explotación de la curva interna o albardón natural debe ser realizada de manera controlada, ya que en muchas ocasiones se pretende justificar un corte de ella con el fin de aliviar la

presión sobre la curva externa, pero lo que se genera es un aumento en la pendiente y en la incisión del cauce, así como elevaciones de la superficie del agua, desestabilización del lecho aguas arriba y disminución de la carga de sedimentos hacia aguas abajo, (Kondolf, et al, 2001).

### **11.3. METODOS DE EXPLOTACION**

Los métodos de explotación que se implementen deben permitir la renovación de la carga de sedimentos que se deposita. El tipo de explotación manual por medio de palas y picas y aún las de tipo semimecánizado, con ayuda de un malacate rudimentario, se concilian perfectamente con el proceso aluvial, en cuanto a tasa de explotación, sitios de depósito y zonas de conservación. Lo anterior teniendo en cuenta que la explotación artesanal sólo se realiza unas horas del día (6 en promedio), y máximo 4 o 5 días a la semana, por un número relativamente bajo de areneros (máximo 20 a 25) para un tramo de aproximadamente 2 km., donde se desplazan permanentemente.

A su vez, los sitios donde se realiza la actividad corresponden a zonas de depósito natural, donde existen acumulaciones de grava y arena, que representan excedentes de materiales que el flujo no puede seguir transportando y se depositan en forma de barras y playas. Por limitación física de los areneros manuales, y aún de los equipos semimecánicos, la explotación se realiza hasta a unas profundidades someras a medias, alejadas tanto de los barrancos del cauce, donde podrían desestabilizar la banca del cauce, como del sector del thalweg, donde el material permanentemente se desplaza por tracción y permite la alimentación de los tramos hacia aguas abajo.

Con base en lo anteriormente expuesto, es posible deducir que la utilización de herramientas manuales y aún las semimecánicas, tal como se han venido implementando en la explotación del cauce, aguas arriba del Puente La Bolsa, garantizan la disponibilidad permanente del recurso material de arrastre y la sostenibilidad ambiental de la actividad a futuro, y como reflejo de ello, se evidencian las buenas condiciones de estabilidad y morfología que muestra el

cauce a través de los años y del levantamiento topobatómico que se realizó de manera detallada para este tramo.

#### 11.4. LEGALIZACION

Los areneros artesanales del Paso de La Bolsa poseen varias posibilidades para continuar con su actividad de manera legal:

Continuar con el trámite de legalización de minería de hecho que aún tienen vigente ante la Agencia Nacional de Minería, pero sólo para la OD2-11471, puesto que la solicitud ODU-10191 no tiene viabilidad actual, ya que el área se encuentra por fuera del cauce activo del río Cauca. De esta forma todos los areneros deberán unirse a través de la solicitud OD2-11471 y asumir la realización del plan de trabajos y obras – PTO y del Plan de Manejo Ambiental para la consiguiente aprobación por parte de la ANM y de la CVC, respectivamente.

Iniciar trámite de declaración de Área de Reserva Especial – ARE (Resolución No. 0205 del 22 de marzo de 2013), para lo cual deberán solicitar a la Agencia Nacional de Minería – ANM que sean incluidos en este proceso y adelantar los siguientes pasos:

1. Radicar una solicitud ante la ANM, en la que manifiesten su interés para que el área que explotan sea declarada como un área de reserva especial. Deberá ser presentada por parte de todos los areneros tradicionales, anexando los siguientes documentos:
  - ✓ Fotocopia de la cédula de ciudadanía de cada uno de los areneros
  - ✓ Plano de localización del área solicitada con sus debidas coordenadas, donde se identifiquen los sitios de minería tradicional.
  - ✓ Inventario de las labores mineras indicando como mínimo: coordenadas de ubicación, tipo de materiales en explotación, número de areneros por playa, clase de infraestructura utilizada, producción, antigüedad y equipos y/o herramientas utilizadas.
  - ✓ Descripción de las características sociales o económicas existentes dentro del área de interés y su problemática.



- ✓ Documentación de tipo comercial y técnica que compruebe la tradicionalidad y antigüedad de la actividad minera, tales como pago de regalías, facturas de venta, planos, inventarios, informes de visita o conceptos técnicos de entidades del estado, entre otros.
- 2. Atender la visita que programe la Agencia Nacional de Minería, para verificar y constatar la veracidad de la información presentada.
- 3. Sí el área es declarada ARE, la comunidad de areneros deberá adelantar el Programa de Trabajos y Obras – PTO y el Plan de Manejo Ambiental – PMA. En el momento que estos documentos sean aprobados por la ANM y La CVC, respectivamente, pasarán a la etapa final de elaboración de contrato de concesión y registro minero.

Adelantar el trámite de inscripción ante la Alcaldía municipal de Jamundí: A través del Decreto No. 1666 del 21 de octubre de 2016 el Ministerio de Minas y Energía definió que la minería de subsistencia se permitiría solo para actividades a cielo abierto y se limitaría a la extracción y recolección de arenas, gravas de río, arcillas, metales preciosos, piedras preciosas y semipreciosas, así como a las labores de barequeo. su vez la Resolución No. 4 0103 del 9 de febrero de 2017, estableció que el volumen máximo mensual para la minería de subsistencia, asociada a arenas y gravas (destinados a la industria de la construcción) es de 120 metros cúbicos por arenero. En este sentido los areneros del Paso de La Bolsa cumplirían con los requisitos para inscribirse ante la Alcaldía de Jamundí, de manera individual, bajo la modalidad de minería de subsistencia, ya que la extracción manual por día por cada arenero, es de aproximadamente 6 m<sup>3</sup>, lo cual arrojaría un valor mensual de 120 m<sup>3</sup>. Los pasos que tendría que adelantar cada minero artesanal serían:

1. Acudir a la alcaldía municipal de Jamundí para que sea inscrito como minero de subsistencia, a través del SI.MINERO (sistema de información del sector minero que automatiza los trámites de la administración del recurso minero).
2. Brindar los datos de identificación personal así como del Registro Unico Tributario – RUT (requisitos obligatorios para surtir la inscripción).

3. Solicitar la expedición del certificado que da constancia de la inscripción.

Solicitar contrato de concesión: es decir realizar el trámite como cualquier minero general, para solicitar contrato de concesión, adelantar la fase de explotación, pasar a etapa de explotación, elaborar plan de trabajos y obras PTO y simultáneamente solicitar licencia ambiental, la cual implica la presentación de documentos técnicos y legales, tales como certificaciones ante el Ministerio del Interior, el Instituto Colombiano de Antropología e Historia – ICANH, así como la realización de estudios mucho más costosos de lo que puede ser un plan de manejo ambiental.

## 12. CONCLUSIONES

### 12.1. Aspectos físicos

Las fuentes de material que se constituyen en aportes de formación para los sedimentos que se depositan a lo largo de la zona estudiada, son fundamentalmente las rocas ígneas básicas que conforman las cuencas de los ríos Ovejas y Timba, las cuales sin embargo no superan el 30% de la totalidad del área de drenaje de estas cuencas. El resto de cuencas ubicadas aguas arriba de la zona de estudio, se encuentran conformadas en su mayor parte por litologías de baja competencia que no soportan mayor transporte.

Las unidades geomorfológicas que principalmente están asociadas a los depósitos aluviales con mejor potencial natural para ser explotados son los albardones semilunares que se depositan en la curva interna y ofrecen una granulometría consistente en gravas y arenas gruesas que son las de mayor demanda y comercialización para los areneros artesanales.

El cauce del río Cauca en el sector del Paso de La Bolsa, muestra dos comportamientos y condiciones de estabilidad diferentes. Aguas arriba del puente, donde se trabaja de forma

artesanal, el cauce presenta un ancho de 150 m. y una profundidad de 8 m. en promedio, clasificado como un cauce de carga mixta, de sinuosidad y pendiente moderada, con una evolución horizontal acorde con las condiciones naturales de alta sinuosidad y movimiento, y en equilibrio dinámico, consecuente con la naturaleza de este tramo, es decir, erosión sobre las curvas externas y crecimiento o avance sobre la interna, así como un desplazamiento del cinturón de meandros hacia aguas abajo. Por el contrario, el tramo aguas abajo del Puente La Bolsa muestra un cauce con un ancho de 100 m. y una profundidad de 12 m. en promedio, que incluso localmente alcanza umbrales críticos de 70 m. de ancho y 18 m. de profundidad, clasificado como un cauce de carga en suspensión, poco sinuoso, con pendiente moderada a fuerte y estabilidad lateral media a alta, pero de fondo, baja. A su vez este tramo de aguas abajo muestra un limitado desplazamiento horizontal, ocasionado por el permanente arrojo de escombros que se realiza en sus márgenes, que conlleva a un mayor proceso de profundización.

La situación de profundización que actualmente afecta el cauce del río Cauca aguas abajo del Puente La Bolsa, ocasionada por una sobre-explotación de tipo mecanizada, representa una amenaza para la estabilidad de los cimientos del puente, teniendo en cuenta que los procesos de profundización avanzan más rápidamente hacia aguas arriba. Sumado a esto, el desplazamiento que sufre naturalmente el cinturón de meandros hacia aguas abajo de la corriente, ha conllevado a que actualmente el estribo izquierdo del puente se ubique sobre la zona curva externa del río, donde los procesos de erosión lateral son más intensos.

Las estimaciones de material de fondo que podrían ser usadas para definir volúmenes máximos de explotación, es un tema que aún tiene un alto grado de incertidumbre, puesto que al utilizar diferentes predictores o formulaciones que existen para ríos aluviales, se encuentran resultados muy disímiles entre ellos, más aún si se comparan con mediciones en campo, o incluso con información de extracciones en el cauce. Sí se comparan los resultados obtenidos con los predictores y los que se estiman de extracción para el tramo aguas abajo del Puente

La Bolsa, resulta mucho mayor la extraída que la calculada, lo cual podría explicar los procesos de profundización que sufre actualmente este sector.

Con base en lo anteriormente expuesto es posible concluir que la única herramienta cierta que se tiene para establecer límites o condiciones de explotación, son las cotas de fondo que se obtengan a partir de topobatimetrías periódicas, las cuales son el referente para establecer límites o alertas para la toma de decisiones relacionadas con la continuación o suspensión de una explotación.

La actividad minera que adelantan los areneros artesanales del Paso de La Bolsa se constituye en una labor ambientalmente sustentable, puesto que es realizada de manera armónica y conciliada con el proceso de formación de los materiales de arrastre y con la configuración y morfología natural del río Cauca para estos sectores, es decir, un cauce ancho y poco profundo, con libertad de movimiento horizontal que le permite el desarrollo de playas con pendientes suaves hacia las curvas internas, y barrancos verticales hacia las curvas externas.

## **12.2. Aspectos bióticos**

De acuerdo con las evaluaciones realizadas a los macroinvertebrados acuáticos se concluye que la composición de especies observada en los puntos de muestreo corresponde con la esperada para los ecosistemas andinos colombianos. En cuanto a los sitios de explotación muestreados se encontró que la playa Madre Vieja fue la de menor número de especies, mientras que la mayor abundancia fue el sector Los Vargas, con una marcada dominancia de la especie *M. tuberculata*, que indica el aporte de aguas residuales provenientes de actividades domésticas, que para este caso corresponde a los vertimientos que se realizan por parte de la comunidad del Paso de La Bolsa hacia el río Claro. Este proceso contaminante cambia las condiciones del ecosistema, provocando la reproducción masiva de estas especies (*Melanoides Tuberculata*) que son tolerantes a estas condiciones de contaminación.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, estos no muestran diferencias significativas al compararse entre todos los sitios muestreados, a excepción de Los Vargas, donde los parámetros de turbidez y conductividad, presentan diferencias con el resto de puntos, pero son muy similares a los valores encontrados en un punto de control tomado en la desembocadura del Río Claro, ubicada en la misma margen donde se realiza la extracción de Los Vargas. Los niveles de turbiedad más altos afectan también los sustratos limpios que requiere el perifiton, ya que al depositarse los sedimentos finos recubren este sustrato.

Una visión general de la fauna de macroinvertebrados y de las condiciones fisicoquímicas observadas, permite inferir que en las zonas de acumulación de arena la oferta de hábitats para estas especies es reducida, por las propiedades intrínsecas del tipo de sustrato cuya dinámica restringe la oferta de refugio, sin embargo las zonas próximas a los puntos de explotación que están más cercanas a las orillas y donde el sustrato se hace más rocoso con presencia de vegetación sumergida sirven de hábitat a comunidades de macroinvertebrados típicas de los ecosistemas andinos colombianos, aunque con una diversidad observada que puede considerarse baja.

En relación con las diferencias encontradas con los indicadores ecológicos reportados en la evaluación hidrobiológica realizada dentro del Proyecto de Modelación del río Cauca, estas deben ser analizadas con prudencia, y más bien estos registros deben ser vistos como un dato de referencia de la comunidad de macroinvertebrados y de la caracterización ecológica de unos sitios puntuales que están sometidos a una presión de explotación, y que sirven de hábitat a un grupo de organismos que fueron detectados mediante estos muestreos, motivo por el cual deben revisarse con mayor rigurosidad para establecer si corresponden a valores absolutos de muestras acumuladas o si son un valor promedio. Igualmente, deberá definirse las desviaciones y los valores máximos y mínimos, y si están asociados a temporadas climáticas por ejemplo, o algún otro tipo de evento identificable.

Las zonas de acumulación de arena no representan hábitats determinantes para el establecimiento o distribución de la fauna de macroinvertebrados, ya que se requiere de la presencia de piedras y cantos que les permita a estas especies agarrarse y propiciar hábitats.

A su vez las zonas profundizadas por efectos de las explotaciones mecanizadas, restringen o limitan la formación de perifiton, al no contar con la luz del sol para poder alimentarse y sobrevivir, afectando el hábitat ideal para la comunidad de macroinvertebrados.

### **12.3. Aspectos legales**

Los areneros del Paso de La Bolsa, cuentan en la actualidad con cuatro alternativas para legalizar y legitimar su actividad artesanal ancestral:

1. Unirse todos en torno a la legalización de minería de hecho OD2-11471, la cual se encuentra vigente.
2. Adelantar trámite para que sean declarados como Area de Reserva Especial – ARE.
3. Inscribirse de manera individual y bajo la modalidad de minería de subsistencia ante la alcaldía de Jamundí.
4. Iniciar trámite de solicitud de contrato de concesión como cualquier minero.

Sin embargo, cada una de estas alternativas tiene sus ventajas y desventajas: la primera tiene el inconveniente que está amparada por la Ley 1382 de 2010 (que modificaba la 685 de 2001- Código de Minas), que fue declarada por la Corte Constitucional como inexecutable, ya que no había tenido en cuenta a las comunidades étnicas, a través de la celebración de una consulta previa. Este hecho hace que los trámites de legalización que iniciaron con esta ley se encuentren suspendidos. A pesar de lo anterior, esta legalización ya surtió la etapa de visita de viabilización por parte del Agencia Nacional de Minería, conjuntamente con la CVC, como resultado de lo cual el trámite aún se encuentra vigente.



La Segunda alternativa actualmente es viable, y sería mucho más rápida que la de legalización minera, siempre y cuando los areneros se unan en una sola solicitud que sea elevada ante la Agencia Nacional de Minería. Este trámite también tiene la ventaja que el estado se hace cargo de la elaboración de estudios geológico mineros, conforme lo señala el Artículo 31 de la Ley 685 de 2001 (Código de Minas), los cuales deben contener una explotación geológica, evaluación y modelo geológico, cálculo de reservas, planeamiento minero, delimitación del área con potencial minero, inventario de explotaciones y justificación minera, lo cual se constituye en un insumo que aporta en alto grado al PTO y al PMA, cuya elaboración deben asumir los mismos areneros artesanales. Adicionalmente, en la medida que la comunidad obtenga título minero y registro minero, podrá acceder a programas y beneficios ante el Fondo Nacional de Regalías para mejoramiento, capacitación empresarial, adquisición de equipos, etc, que contribuyan con la actividad minera y el bienestar social de los areneros y sus familias.

Estas dos alternativas tienen adicionalmente el inconveniente que deben adelantar trámite ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales para dirimir competencias entre la CRC y la CVC, por estar ocupando jurisdicción de las dos corporaciones.

La tercera opción es la que representa el trámite más ágil y rápido, ya que sólo deben solicitar la inscripción ante la alcaldía de Jamundí, pero significaría también que el área donde han adelantado esta actividad podría ser solicitada para contrato de concesión por otras personas y amenazaría la sostenibilidad ambiental de su actividad artesanal.

En cuanto a la cuarta alternativa de iniciar trámite para obtener título minero, se considera la opción menos adecuada para el tipo de minería que adelantan estos areneros, ya que implica mayor tiempo, costos y obligaciones, que no se concilian con los alcances y dimensiones de la actividad minera.

#### **12.4. Aspectos sociales**

La comunidad de areneros artesanales del Paso de La Bolsa ha venido sufriendo en los últimos años de problemas de conflicto social interno que los ha dividido en dos grupos: los que defienden la actividad por medios exclusivamente manuales y aquellos que han visto la alternativa de tecnificar su actividad para sobrevivir. Esta división los ha afectado en la medida que se desgastan en conflictos puntuales y no se enfocan en lo verdaderamente importante que es aunar esfuerzos por legalizarse, aprovechando los diferentes espacios que se han abierto para este tipo de comunidades mineras.

### **13. RECOMENDACIONES**

Para garantizar el futuro y sostenibilidad ambiental de la explotación de materiales de arrastre por parte de la comunidad ancestral del Paso de La Bolsa, se deberá continuar con la actividad de manera artesanal, bien sea por medios exclusivamente manuales, como algunos de ellos han logrado mantener, o incluso por medios semimecánizados, con los cuales otros han conseguido un mejor rendimiento y producción, pero preservando las prácticas de conservación del material de arrastre, entendido como un recurso dinámico pero limitado, que debe ser explotado bajo un conocimiento integral del río y el ecosistema al cual pertenece, conforme lo ha implementado la comunidad desde hace varias décadas.

Los materiales de arrastre, sí bien están regulados por la entidad minera, su explotación debe ser evaluada más desde el punto de vista ambiental que minero, ya que no corresponden a yacimientos fijos como los de una cantera, si no que están en permanente cambio y dependen de condiciones ambientales de tipo natural y antrópico que tienen que analizarse de manera integral. De esta manera deberá propenderse frente a las entidades involucradas en el manejo de este recurso, para que se realicen cambios en la normatividad, de tal forma que su manejo

técnico y legal esté más conciliado con el de un recurso natural renovable, susceptible de permanente cambio.

En relación con las diferentes alternativas de legalización que tienen actualmente los areneros artesanales del Paso de La Bolsa, la que se encuentra más recomendable y viable es la de realizar la gestión correspondiente ante el Ministerio de Minas y Energía para que la zona donde tradicionalmente han realizado artesanalmente la explotación, sea declarada Area de Reserva Especial - ARE. Para ello el estado, a través de entidades tales como La Agencia Nacional de Minería, La CVC y el municipio de Jamundí, deben apoyar desde sus competencias a esta comunidad para que se logre este objetivo.

Las entidades involucradas con el manejo y seguimiento minero y ambiental del recurso materiales de arrastre, llámese Ministerio de Minas y Energía, Agencia Nacional de Minería - ANM, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, o Alcaldía de Jamundí, deben adelantar programas tendientes a apoyar a esta comunidad de areneros artesanales, para que logren su organización, legalización y legitimización como comunidad minera ancestral que depende del río para su subsistencia, pero que a su vez se constituye en un actor fundamental de defensa del ecosistema río Cauca.

Con el objeto de contar con un mayor conocimiento para el manejo ambiental y minero del recurso material de arrastre, se deberá seguir realizando muestreos y monitoreos periódicos a lo largo del río Cauca, pero muy especialmente aguas arriba y aguas abajo del Puente La Bolsa, donde los comportamientos dinámicos son muy diferentes, tendientes a obtener tasas de transporte de sedimentos de carga de fondo, más confiables y aproximados a la realidad, los cuales soporten mucho mejor las decisiones en torno a volúmenes de explotación aprovechables.

Se debe realizar una evaluación de la estructura del puente La Bolsa, teniendo en cuenta los problemas de profundización que se presentan un kilómetro aguas abajo y los consiguientes

procesos de erosión remontante que se dirigen en dirección a esta estructura, sumado al desplazamiento hacia aguas abajo de la curva externa donde se ubica el puente.

De igual forma se deberán seguir estudiando los efectos que tienen las explotaciones de materiales de arrastre sobre el componente biótico asociado al cauce y zona riparia del río Cauca, a través de monitoreos que involucren épocas de lluvia y sequía, ya que hasta ahora los muestreos realizados han sido muy puntuales en el tiempo y pueden no ser lo suficientemente representativos para lograr conclusiones más contundentes. Los monitoreos deben involucrar tanto aspectos bióticos como químicos, ya que ambos se encuentran íntimamente ligados.

En el tema social, es muy importante que la comunidad del Paso de La Bolsa continúe con el trámite ante el Ministerio del Interior para lograr su reconocimiento como Consejo Comunitario, ya que como organización étnica podrían aplicar a los beneficios que tienen contemplado los Artículos 130 a 136 del Capítulo XIV del Código de Minas (Ley 685 de 2001) y de igual forma obtener mayores beneficios que les permita beneficiarse de los programas que tenga concebido el gobierno para el tema minero, ambiental y social.

## BIBLIOGRAFIA

- Abarca, H. (2007). El Uso de Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Revista Biocenosis. (20), p.96.
- Agencia Vasca del Agua - URA (2014). Protocolo de muestreo, análisis y evaluación de fauna bentónica macroinvertebrada en río vadeables. País Vasco.
- Alcaldía Municipal de Caloto. (2001). Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Caloto. Diagnóstico, Subsistema Físico – Biótico.
- Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Aridos – ANEFA. (2009). Las buenas prácticas para la extracción de gravas en dominio público y zona de policía en la cuenca del Ebro. España.
- Barón, J., Poff, L., Angermeier, P., Dahm, C., Gleick, P., Hairston, N., Steinman, a. Sociedad Norteamericana de Ecología. Tópicos en Ecología. Ecosistemas de agua dulce sustentables. Número 10. 2003
- Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad. UAIS Sustentabilidad. Universidad Abierta Interamericana, Centro de Altos Estudios Globales.
- Coen, A (2006). De sostenible y sustentable. Revista Sentidos y Significados. (116), p.51.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC – INGEOMINAS (1971). Hidrogeología del Valle del río Cauca, sector Buga – Cartago.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. (1985). Inventario de extracciones de materiales de arrastre del cauce del río Cauca – Tramo Paso de La Bolsa – Puerto Isaacs (Yumbo).
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC - Universidad del Valle (1986). Estudio Morfológico del Río Cauca, II Etapa. Informe final, Volumen 1 y 2. Cali.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2001). Inventario de dragas en el río Cauca en 2001. Informe Técnico 1130-09-028-071-002-2000.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2002). Inventario de sitios de extracción de materiales de arrastre en el departamento del Valle del Cauca, año 2002. Informe Técnico 1130-09-028-071-291-2002.
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER. (2003). Seguimiento y Control de Explotaciones de depósitos de materiales de arrastre. Contrato No. 094 de 2002. Pereira, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC – Universidad del Valle (2000). PMC – Fase I. Proyecto de Modelos del río Cauca. Volumen I. Caracterización del Río Cauca. Cali, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC – Universidad del Valle (2004a). PMC – Fase II, Proyecto de Modelos del río Cauca. Volumen II. Muestreo

sedimentológico del material de fondo del río Cauca y principales tributarios. Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC – Universidad del Valle (2004b). PMC – Fase II, Proyecto de Modelos del río Cauca. Volumen XII. Evaluación Hidrobiológica y de calidad del agua. Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC – Universidad del Valle (2005). PMC – Fase II, Proyecto de Modelos del río Cauca. Fichas de estaciones hidrométricas operadas por CVC sobre el río Cauca en el tramo Pan de Azúcar – Anacaro. Cali, Colombia

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC – Universidad del Valle (2007a). PMC – Fase III, Proyecto de Modelos del río Cauca. Volumen X. Estudio de Transporte de Sedimentos de Fondo del río Cauca. Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC – Universidad del Valle (2007b). El río Cauca en su Valle Alto. Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC (2008a). Sectorización del río Cauca entre Timba y Paso de La Torre, en términos de explotación de materiales de arrastre.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, Universidad del Valle. Convenio Interadministrativo CVC NO. 110-2007. (2008b). Estudio Integral del río Bugalagrande para el ordenamiento de las actividades de explotación de materiales de arrastre. Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, Universidad de Caldas (2008c). Guía Minero Ambiental para la explotación de agregados pétreos en depósitos de canal activo, terrazas aluviales y llanuras de inundación. Convenio No. 061 de 2006. Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, Universidad del Valle y Asocars. (2014). Zonificación de amenazas por inundaciones del río Cauca en su Valle Alto y planeamiento de opciones de protección. Geomorfología y morfodinámica del río Cauca en su Valle Alto.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, Ingetop. (2017). Levantamiento topobatimétrico en unidades de producción minera para material de arrastre en el río Cauca, como herramienta para realizar acciones de seguimiento al estado actual de las licencias ambientales y planes de manejo ambiental otorgados por la CVC. Cali.

De Groot, R., Wilson, M., Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological. Economics.

Domínguez, E. y Fernández H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.

Elosegui, A y Sabater, S. (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. España.



- Flota Mercante Grancolombiana S.A. (1986). Estudio de Navegabilidad del río Cauca. Informe final. Volumen 3, Tomo II.
- Foladori, G y Pierri N. (2005), ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable, Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial. México.
- Fotografías de PILCO (Puente Guillermo León Valencia. 1996). Espolones, protección longitudinal y tablestacado de defensa para el puente Guillermo León Valencia en el río Cauca.
- Galindo, J. (2003). Cruzando el Cauca. Colección de Autores Vallecaucanos. Secretaría de Cultura y Turismo, Gobernación del Valle del Cauca.
- Guerrero, A. (1996) Macroinvertebrados como bioindicadores en la evaluación de la calidad de agua en ríos. Tecnología en marcha. Vol. 12, No. 3.
- Guevara, M. Socavación en puentes. (2016). Universidad del Cauca. Popayán.
- Gutiérrez, G. (2015). Análisis de renovabilidad y volúmenes de explotación de material de arrastre en cauces activos. Universidad Central. Bogotá.
- Guzmán, F. para CVC. (2006). Caracterización temática del río Cauca en Morfología e Hidrodinámica, en forma general, desde Timba hasta Cartago, y también para un tramo de 50 kms al sur, comprendidos entre las abscisas K70 a K120 (Cerca al río La Quebrada-Zanjón Oscuro) y consideraciones de otros aspectos Biofísicos y de Conservación del Ecosistema, identificados desde la óptica de la Morfología e Hidráulica del río, para establecer el corredor de la Franja Forestal Protectora del río Cauca.
- Hudson, P. (2002). Pool – riffle morphology in an actively migrating alluvial channel: the lower Mississippi river. Department of Geography. University of Texas – Austin.
- INGEOMINAS, DAGMA. (2005). Proyecto de Microzonificación Sísmica de Cali, Subproyecto de Geofísica, Investigaciones geofísicas.
- Kondolf, M. (1997). Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. University of California. USA.
- Kondolf, M., Smeltzer, M. y Kimball, L. (2001). Freshwater gravel mining and dredging issues. Washington Department of fish and wildlife.
- Macedo, B. (2005). El concepto de sostenibilidad. Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe, UNESCO, Santiago, Chile.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. (2017). Guía Técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía, Dirección de Formalización Minera (2017). Instructivo para la inscripción de mineros de subsistencia, Un paso hacia la formalidad. Bogotá, Colombia.

- Nivia, A. (2001). Mapa Geológico del Departamento del Valle del Cauca. Ingeominas.
- Orrego, A y París, G. (1999). Geología del Cuadrángulo N-6. Ingeominas.
- Pérez, J. y Tamayo, G. A. (2011). Análisis de las necesidades prioritarias encontradas de la comunidad del corregimiento del Paso de La Bolsa (Jamundí). Trabajo de Grado para optar al título de Licenciadas en Educación Básica, Universidad del Valle.
- Poff, N., Allan, J., Bain, M., Karr, J. Prestegard, K. (1997). The Natural Flow Regime, A Paradigm for River Conservation and Restoration. *BioScience*. Vol. 47 (11), p. 775.
- Posada, L. (1994). Transporte de sedimentos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Ramírez, C., Bocanegra, R., Santacruz, S., Quintero, H. J. y Sandoval, M. (2010). Metodología para estimar los volúmenes máximos de explotación de materiales de arrastre en un río. EIDENAR, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Reyes, C. y Fierro K. (2001). Manual de Monitoreo: los Macroinvertebrados Acuáticos como indicadores de la calidad del agua. EcoCiencia, Quito.
- Roldan G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- Roldán G, Ramírez J.J. (2008). Fundamentos de limnología Neotropical. 2da. Ed. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias– ACCEFYN. p. 440.
- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, Vol. 22: 169-199. Elsevier Science, B. V. Amsterdam.
- Rubio, M. (2013). Elaboración del diagnóstico de las condiciones técnicas minero-ambientales mediante las cuales se adelanta la explotación de materiales pétreos en lecho de río en Colombia y la formulación de recomendaciones técnicas y de necesidades normativas asociadas que permitan adelantar esta actividad de manera ambientalmente responsable. Ministerios de Minas y Energía y de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá.
- Schumm, S.A. (1977). The Fluvial system, John Wiley & sons, New York.
- Schumm, S.A. (1968). River Adjustment to altered hydrologic régime, Murrumbidgee River and paleochannels, Australia: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 598, 65p.
- Shen, H. W. (1983). Problemas de sedimentos relacionados con la degradación aguas abajo de Salvajina.
- Soto, C. (2015). Una aproximación a las condiciones que explican la dinámica fluviomorfológica del río Cauca en su Valle Alto. Trabajo de grado para optar al título de Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Spradley, J. (1979). The Ethnographic Interview. La Investigación etnográfica. Harcourt Brace Jovanovich. College Publishers. Fort Worth.

Spradley, J. (1981). *The Ethnographic Interview. Escribir una etnografía.* Harcourt Brace Jovanovich College Publishers. Fort Worth.

Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín) y Universidad del Quindío para Corporación Autónoma Regional del Quindío – CRQ. (2002). Estudio de exploración semidetallada de material de arrastre en la cuenca del río La Vieja. Unión Temporal. Armenia, Colombia.

Universidad del Valle, CVC, Colciencias. (1980). Estudio Morfológico del río Cauca.